

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DESINFECTANTE Y DE REMOCIÓN DE
TURBIDEZ DE LA TUNA (*Opuntia ficus-indica*) EN AGUAS DEL RÍO
TEUSACÁ EN LA VEREDA EL SALITRE, LA CALERA

PAULA ALEJANDRA SÁNCHEZ SANDOVAL

COD: 64141068

PAULA ANDREA QUINTERO MEDELLIN

COD: 64142073

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: Diana Carolina Ospina Mora

Universidad Libre
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Bogotá
2020

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a la universidad Libre por permitirnos desarrollar el trabajo con los insumos requeridos, por los laboratorios y por ser una fuente de conocimiento continuo.

También a los formadores que nos ayudaron a llegar donde nos encontramos y en especial a la ingeniera Diana Ospina por todas las tutorías, el conocimiento transmitido y por las palabras correctas, pero sobre todo por la paciencia, el apoyo y tiempo invertido en todo el proceso.

A nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente, y a Brayan Lerma y Johan Mora con su colaboración con la recolección del agua muestra.

Por último, a los jurados por el tiempo en la revisión de este documento y sus observaciones para hacerlo mejor.

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	7
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
2	PREGUNTA PROBLEMA	9
3	OBJETIVOS	9
3.1	OBJETIVO GENERAL	9
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4	METODOLOGÍA	10
5	MARCO REFERENCIAL	13
5.1	MARCO LEGAL	13
5.2	MARCO TEÓRICO	14
5.3	UBICACIÓN	21
5.4	MARCO CONCEPTUAL	23
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
6.1	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA	23
6.2	OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO Y EL POLVO	24
6.3	PRUEBA DE JARRAS	25
6.4	PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS	31
6.5	REMOCIÓN DE TURBIDEZ E INTERACCIÓN ENTRE FACTORES	31
6.5.1	Resultados con mucílago	32
6.5.2	Resultados con Polvo	35
6.6	COMPARACIÓN CON LA RESOLUCIÓN 631/15	37
6.7	DISEÑO DE LA RED DE TUBERÍA	38
6.8	DISEÑO DEL COAGULADOR-FLOCULADOR	47
6.8.1	Información general de sistema	47
6.9	MANUAL DE OPERACIONES COAGULADOR- FLOCULADOR	54
6.9.1	Alcance	54
6.9.2	Descripción del tratamiento	55
6.9.3	Seguimientos del sistema:	55
6.9.4	Información de seguridad:	55
6.9.5	Manual de los equipos	56
6.9.6	5.8.6 Operación del sistema:	56
6.9.7	Ensayo de jarras:	56
6.9.8	Inspección y reporte de novedades	57
7	CONCLUSIONES	62
8	RECOMENDACIONES:	63
9	Bibliografía	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Río Teusacá y la vereda El Salitre en el Municipio La Calera, Cundinamarca	23
Figura 2. Obtención Mucílago	25
Figura 3. Ensayo de jarras por triplicado del polvo	29
Figura 4. Ensayo de jarras triplicado del mucílago	30
Figura 5. Gráfico Remoción de turbidez de los 3 coagulantes	31
Figura 6. Óptima calificación con los tres coagulantes	33
Figura 7. Gráfico de interacción entre factores del mucílago	34
Figura 8. Gráfico de efectos del mucílago	36
Figura 9. Gráfico de interacción entre factores del polvo	37
Figura 10. Gráfico de efectos del polvo	38
Figura 11. Ubicación de la red de tuberías	40
Figura 12. Coagulador	50
Figura 13. Floculador	53
Figura 14. Coagulador- floculador	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para analizar	11
Tabla 2. Calidad del agua cruda	24
Tabla 3. Resultado ensayo de jarras polvo	26
Tabla 4. Resultado ensayos de jarras mucílago	27
Tabla 5. Resultados microbiológicos	31
Tabla 6. Óptimas remociones	32
Tabla 7. Parámetros Resolución 631/15	37
Tabla 8. Parámetros base de diseño red de tuberías	45
Tabla 9. Cálculos red de tuberías	46
Tabla 10. Seguimientos del sistema	55
Tabla 11. Inversión inicial del proyecto	60
Tabla 12. Mantenimiento mensual	61

INTRODUCCIÓN

Actualmente el tratamiento de aguas residuales, específicamente en el proceso de coagulación y floculación, busca reducir o eliminar la turbidez en el agua usando reactivos químicos como el alumbre o sulfato de aluminio, ampliamente utilizado en este proceso (Choy, Nagendra, Yeong, Eshwaraiah, & Nagasundara, 2014). Sin embargo, algunas de sus desventajas son la gran producción de lodos, la disminución del pH y la presencia de aluminio residual en las aguas tratadas, que podría estar relacionado con el Alzheimer (Devrimci, Yuksel, & Sanin, 2012).

En los análisis de la calidad del agua potable la turbidez es un parámetro importante debido a que aumenta las posibilidades de que algunas partículas contaminantes, bacterias, virus y parásitos se adhieran a los coloides presentes en el agua y representar un riesgo para la salud humana y el ambiente (Pichler, Young, & Alcantar, 2012)

Uno de los inconvenientes del tratamiento del agua, es que entre más turbia esté ésta, es necesario el uso de coagulantes en mayor proporción, generando un incremento en los costos por su importación (si no se utilizan sustancias locales), comparados con el costo de elaboración de coagulantes a base de plantas (Olivero Verbel, Mercado Martínez, & Montes Gazabón, 2013) (Lopez & Coto, 2011). Por lo anterior, se recurre a opciones como los polímeros naturales, como los polímeros de materiales a base de plantas (Alam, Parvez, & Sharma, 2014). Dos de las plantas más usadas para la extracción de polímeros naturales es la penca de la Tuna o Nopal y las semillas de Nirmalí (Arboleda, 2000).

En cuanto a la desinfección del agua hay una creciente preocupación por el uso de biocidas

sintéticos por el impacto que pueda generar a la salud. El desinfectante más usado es el cloro, el cual se ha asociado con efectos como presentar un sabor y olor desfavorable al usarse para el tratamiento del agua, además su ineficacia en contra de organismos resistentes como *Cryptosporidium parvum*, ocasionalmente “fallas regulatorias en la calidad del agua” (Hallam, West, Forster, Spencer, & Spencer, 2002) y la generación de subproductos de desinfección (Kerwick, Reddy, Chamberlain, & Holt, 2005) tóxicos como los trihalometanos, ácidos haloacéticos y halógenos.

De manera similar a los coagulantes se ha buscado una alternativa para la desinfección del agua con productos naturales, generando la iniciativa de valorar la probable capacidad de desinfección de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en agua residuales y conocer si puede reemplazar los productos sintéticos.

Por estas razones el presente trabajo se presenta bajo el argumento de la necesidad de implementar nuevas alternativas para tratar aguas residuales en zonas rurales. Por lo anterior, el trabajo contiene una parte experimental y una parte de análisis de cómo podría ser la implementación de un sistema de coagulación con Tuna. En el marco referencial se pueden encontrar los autores, artículos, normativas y conceptos relacionados con el tema investigativo de este trabajo junto con la ubicación del área de estudio. En el análisis de resultados se determinan las condiciones óptimas de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como agente coagulante y desinfectante, como también se analiza la factibilidad de implementar una infraestructura y procedimiento para el tratamiento de aguas residuales con este coagulante. Como últimas secciones, pero no menos importantes, en las conclusiones y recomendaciones, están las apreciaciones finales de todo el trabajo realizado, que se espera, pueda ser un aporte de un enfoque de investigación en tratamiento de aguas en la ingeniería ambiental colombiana.

1. GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para el ser humano, ya que a partir de ella se desarrollan muchas de las actividades del hombre provocando una excesiva necesidad de este recurso. El recurso hídrico se ve afectado por el incremento exponencial de la población, la producción y el consumo, lo que genera aguas residuales que impactan al ambiente. “Las aguas residuales son aquellas aguas alteradas por actividades antrópicas las cuales necesitan un tratamiento adecuado antes de ser reutilizadas o desechadas al ambiente” (OEFA, 2014) Estas se clasifican en aguas residuales domésticas o industriales, dependiendo su origen. Cada descarga contiene una variedad de contaminantes como desechos fecales, detergentes, fertilizantes, plaguicidas, etc. “Los contaminantes pueden acumularse y transportarse tanto por las aguas superficiales como subterráneas para las cuales la fuente principal de daño son las aguas residuales municipales e industriales.” (Garces, Mejía, & Santamaría, 2004)

El agua residual contiene una cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos los cuales pueden ser un riesgo para la salud y el ambiente. En Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el encargado de establecer las condiciones para el saneamiento del ambiente y tomar medidas para controlar y reducir la contaminación hídrica en el país¹ por lo cual exige análisis de parámetros como pH, DQO, DBO₅, SST, SSED, SAAM, grasas y aceites, y los valores límites máximos permisibles para los vertimientos en los cuerpos de

¹ véase artículo 5 numeral 2 y 11 de la Ley 99 de 1993 de la Constitución Política de Colombia

agua y alcantarillado².

Por otro lado, el saneamiento de las aguas residuales se ha convertido en un derecho para las personas, porque está relacionado con su calidad de vida y salud; sumándose a esto y según la UNESCO “...El acceso inadecuado al agua, saneamiento e higiene es una de las muchas privaciones que todavía sufren los grupos de población más pobres y marginados del mundo.” (2015). En cifras se puede resumir que “7 de cada 10 personas sin acceso al saneamiento viven en áreas rurales” (Molinos, Hernandez, & Sala, 2012)(debido al difícil acceso al territorio y los elevados costos que supondría invertir en infraestructura de alcantarillado.

Las consecuencias más alarmantes en estas zonas son las enfermedades que se pueden transmitir por estas aguas no tratadas, como la transmisión de los protozoarios intestinales *Cryptosporidium* y *Giardia*, los cuales son consideradores inconvenientes para la salud pública (Bentacourt & Querales, 2008) , por esto es tan importante la desinfección de las aguas residuales.

La reducción de la turbidez en el agua suele hacerse con reactivos químicos como el alumbre, el cual “está ampliamente asociado con el desarrollo potencial de problemas de la salud” Choy y otros (2014). Además del alto costo, estos productos suelen ser de difícil acceso para las personas que viven en zonas rurales, por lo que es necesaria la búsqueda de un coagulante que sea asequible para estas comunidades.

Por otro lado, conforme con Pedraza (2014), el aumento de viviendas rurales en las últimas dos décadas en el municipio de La Calera ha sido aproximadamente de 1194. Esto ha generado mayor contaminación en el río Teusacá por el vertimiento directo de las aguas

² véase Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

residuales de la comunidad. De acuerdo con su trabajo “La contaminación del río Teusacá también tiene otros impactos indirectos, su caudal sirve como fuente de agua alternativa a la del río Bogotá para la planta de tratamiento de Tibitoc, esto pone en peligro una de las plantas abastecedoras de agua potable de la capital”. Adicionalmente según el PBOT de la Calera, sus veredas tienen problemas con el mantenimiento del alcantarillado o no tienen redes de alcantarillados

A partir de lo anteriormente expuesto, se analizó el potencial de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante para la remoción de turbidez y su capacidad desinfectante, teniendo como caso de estudio, las aguas del río Teusacá el cual está siendo afectado por vertimientos de aguas residuales en la vereda El Salitre, del municipio de La Calera.

2 PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuál es la máxima eficacia de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la remoción de la turbidez y su capacidad desinfectante de las aguas residuales en el río Teusacá?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la capacidad desinfectante y de remoción de turbidez de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en aguas del río Teusacá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las condiciones óptimas de clarificación ‘con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) al tratar agua residual.
2. Valorar la probable capacidad de desinfección la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en aguas residuales.
3. Analizar la factibilidad de la implementación de infraestructura y procedimientos para el tratamiento con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en las aguas del río Teusacá, sector vereda El Salitre, La Calera.

4 METODOLOGÍA

Es una metodología cuantitativa porque se obtuvieron datos de manera numérica para saber cuál es la máxima efectividad de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*), para tratar aguas residuales, en donde se controlaron factores como velocidad y dosis, para la coagulación y, además, se analizó si es eficaz para la remoción de organismos patógenos.

1. Experimentar con diferentes condiciones de ensayo de coagulación con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) al tratar agua residual.

Para cumplir con este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Analizar la calidad del agua

Se analizó el agua residual tomada del Río Teusacá Vereda El Salitre antes de iniciar las pruebas de jarras. Tanto para el agua cruda, como para el agua resultante luego de cada prueba, se analizaron los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros para analizar

PARÁMETROS	TÉCNICA O MÉTODO
pH	SM 4500-H ⁺ B. Método electrométrico
DQO	SM 5220 C. Reflujo cerrado, Método titrimétrico
OD	SM 4500-O B. Método yodometrico Iodometric Methods
Color	SM 2120 C. Método espectrofotométrico
Turbidez	SM 2130 B. Método nefelométrico
Alcalinidad	SM 2320B. Método de titulación
Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D. Sólidos suspendidos totales secados a 103-105°C
Sólidos sedimentables	SM 2540 F. Método volumétrico
Organismos microbiológicos:	Conteo de Unidades formadoras de colonias
• <i>Salmonella sp.</i>	Petrifilm 3M ® para <i>Salmonella spp.</i>
• <i>E. Coli</i>	Petrifilm 3M ® para <i>E. Coli</i>
• <i>Coliformes totales</i>	Petrifilm 3M ® para <i>coliformes Totales</i>

- Se extrajo el mucílago de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) y se obtuvo el coagulante en polvo.
- Se ejecutó el ensayo de jarras empleando la técnica definida por la Norma Técnica Colombiana 3903 (2010) variando presentación de la tuna

(mucílago y polvo), dosis, velocidad de agitación (50,100 y 200 rpm) en un tiempo fijo de 20 minutos

- Se hizo el análisis de la relación de los parámetros variados (velocidad y dosis), por medio de la herramienta R studio versión 3.5.1

2. Valorar la probable capacidad desinfectante de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en aguas residuales.

- Hechos los ensayos de jarras, se procedió al análisis microbiológico del agua clarificada, mediante las técnicas o métodos mencionados para la detección de coliformes, *Salmonella* sp. y *E. coli*.

3. Analizar la factibilidad de la implementación de infraestructura y procedimientos para el tratamiento con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en las aguas del río Teusacá, sector vereda El Salitre, La Calera.

Para cumplir con este objetivo, se realizaron las siguientes actividades:

- Del ensayo de jarras realizado, se hizo un análisis físico y químico después del proceso de clarificación del agua, para determinar si se cumplen los requerimientos de la Resolución 0631 de 17 de Marzo del 2015
- Como el tratamiento de las aguas de río Teusacá, con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) cumple con los requerimientos de la Resolución 0631 de 17 de Marzo del 2015 se procedió a diseñar y estimar el costo de la infraestructura.
- Se comparó el costo de implementación de un cultivo de Tuna (*Opuntia ficus-*

indica) en La Calera vs el costo de compra de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*).

- Se elaboró un manual de operación del tratamiento con la Tuna (*Opuntia ficus-indica*).

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO LEGAL

- Decreto 2811/74: “El cual dicta el Código Nacional de Recursos Renovables y de Protección al Medio Ambiente” (Presidente de la República, 1974).
- Constitución Política de Colombia 1991 Art. 79: El Estado tiene como deber proteger la diversidad e integridad del ambiente. (Corte Constitucional , 1991)
- Constitución Política de Colombia 1991 Art. 80: El Estado deberá manejar y aprovechar los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible. Además, controlar y prevenir los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Corte Constitucional , 1991)
- Ley 99/93: “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA” (Congreso de Colombia , 1993)
- Resolución 631/15: “El cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

- Decreto 3930/10: se reglamenta el uso del agua y residuos líquidos (Presidente de la República de Colombia, 2010). Actualmente contenido en el Decreto 1076/15
- Resolución 1207/14: “Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2014).

5.2 MARCO TEÓRICO

LA TURBIDEZ Y LOS EFECTOS EN LA SALUD Y ECONOMÍA

El agua es el recurso natural vital para la vida y el equilibrio en los ecosistemas, además es parte importante para nuestra sociedad ya sea para consumo humano, agrícola, industrial, etc. Es responsabilidad de la sociedad devolver el agua usada al ambiente con ciertos parámetros de calidad físicos y químicos, para evitar un impacto negativo en el ambiente y las comunidades que hacen uso de estas aguas. “La falta de agua segura para el consumo humano, de saneamiento y de higiene es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud” (Ramírez & Jaramillo, 2015)

La turbidez es un parámetro importante a tener en cuenta a la hora de analizar la calidad del agua, debido a que “elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias” (Marco, et al., 2004), lo cual puede producir problemas a la salud. Por esta razón, el agua debe ser tratada para removerlos y así, disminuir la probabilidad de brotes y epidemias. Por otro lado “los componentes que causan una alta turbidez pueden generar problemas de sabor y olor y reducir

la efectividad de desinfección” (Spellman, 2009) puesto que entre más turbia este el agua se hace necesario el uso de coagulantes en mayores proporciones generando un incremento en los costos.

Por otro lado, la turbidez es uno de los factores organolépticos por los cuales, los usuarios presentan quejas sobre la calidad de los servicios de suministro, en especial, en época lluviosa, en Guayaquil el 18 de febrero del 2017 se presentó una alerta la turbiedad del río Daule el cual es la fuente de abastecimiento del agua potable debido a que cuando llueve en Manabí (nacimiento del río Daule), el agua baja turbia (El Universo, 2017).

ORGANISMOS PATÓGENOS

El acceso y suministro de agua es esencial para el desarrollo sostenible de una comunidad, por ende, es importante garantizar la calidad del agua para evitar problemas de salud pública. Al ser un recurso indispensable para las actividades y consumo humano, las personas utilizan el agua en precarias condiciones debido a las pocas alternativas que tienen, pero “La falta de garantías en la seguridad del recurso hídrico, hace que la comunidad quede expuesta al riesgo de brotes de enfermedades relacionadas con el agua [...] como vehículo transmisor, tiene un gran potencial de infectar simultáneamente a una gran proporción de la población” (Ríos, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

Los organismos patógenos en el agua pueden provenir de diferentes fuentes de agua residuales dependiendo de actividades agrícolas, agropecuarias, industriales y domésticas las cuales pueden contener una variedad de bacterias y microorganismos perjudiciales para la salud, teniendo en cuenta que, en su mayoría, el tratamiento de estas aguas es escaso o no presentan un tratamiento previo para ser vertidas en los cuerpos de agua más cercanos; es por

esto la importancia del análisis microbiológico del agua rigiéndose por los parámetros que dicta la norma nacional. Los coliformes totales y *E. Coli* son una de las principales bacterias para analizar, por ser características en aguas residuales domésticas, por esto son bioindicadores de contaminación hídrica de origen fecal. Las infecciones por *E.coli* se ocasionan al consumir líquidos y alimentos que la contengan generando deshidratación por la diarrea, una amplia gama de enfermedades gastrointestinales, en el tracto urinario, el torrente sanguíneo, el sistema nervioso central y una posible muerte (Nontongana, Sibanda, Ngwenya, & Okoh, 2014) (Croxen , y otros, 2013)

Por lo general para contraer una infección por organismos patógenos, es necesario consumir alimentos o líquidos que los contengan. Algunos de los indicadores a nivel mundial para el análisis de la calidad del agua a nivel microbiológico es el colera (Organización Mundial de la Salud , 2019) y la *Salmonella spp.*, la cual origina “la enfermedad diarreica aguda, e infecciones alimentarias las cuales continúan siendo una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad sobre todo en lactantes, niños y ancianos” (Máttar, 2004).

TRATAMIENTO DEL AGUA

La calidad del agua depende de sus características físicas, químicas y biológicas que las hacen aptas para ciertos usos, se fijan ciertos criterios de calidad del agua en función del uso que se le dará, dando lugar a ciertas normas que regulan su posible uso.

Para que el agua sea apta para consumo humano, el agua pasa por un proceso llamado potabilización, en el cual se procede a la remoción de flotantes, pre-sedimentación y remoción de material en suspensión, oxidación química (remoción de sustancias inorgánicas

y orgánicas), aireación, aforo, clarificación (coagulación y floculación, sedimentación y filtración) y desinfección (Lozano, 2015).

COAGULACIÓN

Después de hacer uso del agua, su calidad disminuye debido a la presencia de contaminantes dando como resultado aguas residuales, las cuales deben ser tratadas con un procedimiento físico químico (coagulación- floculación) antes de su descarga.

El objetivo de la coagulación es agregar un agente coagulante, el cual desestabilice las cargas de las partículas presentes en el agua, generando la unión de estas en grumos, lo que permite remover: los coloides, materia orgánica, color, la turbiedad, bacterias y microorganismos (Lopez P. , 2002).

Los coagulantes orgánicos, realizan una desestabilización de la suspensión debido a que las partículas coloidales tiene carga negativa, y las proteínas catiónicas de estos coagulantes logran una neutralización, por la fuerza de atracción entre las moléculas los coloides se aglomeran. (Bravo, 2015)

.

TIPOS DE COAGULACIÓN

- La Coagulación por adsorción: Según Cárdenas (2000) este tipo de coagulación se da en el caso en el que el agua presenta altas concentraciones de partículas coloidales, es decir, alta turbidez en el medio.

Con respecto al coagulante, este al ser adicionado es adsorbido por los coloides formado flóculos rápidamente. Esta, de acuerdo con Arboleda (2000), se divide en:

- Coagulación por neutralización de la carga: Consiste en la reducción del potencial

respectivo de las cargas

- Coagulación por puentes químico: la adsorción de contraiones se debe a las fuerzas químicas de las moléculas adsorbidas y las superficies de coloides, aumentando su tamaño hasta cambiar la carga del coloide a positivo estabilizándolo
- Coagulación por barrido: Se aplica cuando el agua tiene baja turbidez; “en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación” (Cárdenas, 2000) del coagulante. Consiste en saturar el agua con una alta concentración del coagulante generando un floc de barrido que desciende y en su caída atrapa los coloides y partículas suspendidas obligándolas a decantar (Arboleda, 2000)

TIPOS DE COAGULANTES

Se pueden clasificar en dos grupos:

1. Polielectrolitos: El tipo de polímero que se forma depende de los monómeros que lo conforme, cuando hay múltiples grupos funcionales en las cadenas poliméricas se llama polielectrolito. Los polielectrolitos se clasifican en

1.1 según su origen:

1.1.1 Polímeros naturales: Se refiere a los polímeros que hacen la reacción química de animales y plantas. Estos coagulantes son muy usados por los nativos para clarificar el agua, las más usadas son la penca de la Tuna o Nopal y las semillas de nirmalí.

1.1.2 Polímeros sintéticos: Por medio de la transformación química de derivados de carbón y petróleo se generan estos compuestos orgánicos. Incluyen la mayoría de polímeros de mayor venta comercial.

- 1.2 Según su carga: Los polímeros pueden no tener carga eléctrica estos se denominan no iónicos, los que tienen carga eléctrica pueden ser catiónicos o aniónicos.
2. Coagulantes metálicos: Hay diversidad en coagulantes metálicos, se clasifican en:
 - 2.1 Sales de aluminio: Las más conocidas son el sulfato de aluminio y el sulfato de aluminio amoniacal, las cuales forman un floc ligeramente pesado.
 - 2.2 Sales de Hierro: Se usan cuando el sedimento está muy pesado y el sulfato de aluminio no coagula correctamente. Forman un floc más pesado que las sales de aluminio por lo cual tienen mayor velocidad de asentamiento y funcionan a un rango mayor de pH.
 - 2.3 Compuestos varios: Existen otros compuestos que se usa para coagular como el carbonato de magnesio (Arboleda, 2000)

FLOCULACIÓN

Es el proceso mediante el cual ocurre la aglomeración de las partículas coaguladas por medio de la adición de sustancias denominadas floculantes, facilitando el proceso de decantación y filtración en el agua. El objetivo de la floculación es generar colisiones tales que las partículas coaguladas o los microflocs crezcan en tamaño convirtiéndose en un floc, con el fin de que este se asiente o sea capaz de flotar (Hendricks, 2011).

TIPOS DE FLOCULACIÓN

1. Floculación pericínética: Es donde la frecuencia de colisiones se obtuvo a partir

del flujo de difusión de partículas hacia una única partícula estacionaria en una dirección radial, se produce por el movimiento Browniano (movimiento de la partícula).

2. Floculación Ortocinética: Es producida por el gradiente de velocidad de las partículas en el líquido, entre más grande sea este gradiente menor será el floc, se induce por fuerzas externas. (Bratby, 2016).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS LOS COAGULANTES Y DESINFECTANTES (POLÍMEROS) NATURALES

Como resultado del tratamiento con alumbre, el aluminio residual en el agua se ha asociado con el Alzheimer (Devrimci, Yuksel, & Sanin, 2012), además de grandes producciones de lodos, la baja eficiencia con aguas frías en la coagulación y la reacción con la alcalinidad natural presente en el agua, son algunas desventajas de este tipo de coagulante; mismas deficiencias con sales de hierro y polímeros sintéticos. Por esto es necesario encontrar coagulantes naturales porque son más seguros para la salud e inocuos para el ambiente (Mendoza, Briceño, Garcia, Fuentes, & Caldera, 2007). “Los polímeros naturales son de hecho más ventajosos que los compuestos inorgánicos en virtud de producir copos más densos y compactos, que son biodegradables y menos tóxicos que los compuestos metálicos” (Bouaouine, Bourven, Khalil, & Khalil, 2018)

Los coagulantes naturales no son utilizados en plantas potabilizadoras que sean para poblaciones grandes, “es necesario conocer sus características potenciales para que sean

aplicadas por las empresas hidrológicas” (Díaz, 2014)

De acuerdo con un estudio realizado con el agua del Río Sinú, Antioquia, Colombia, los coagulantes naturales pueden improbablemente alterar el pH del agua tratada. Además, “una gran cantidad de cargas en la superficie que aumentan la eficacia de la coagulación” (Feria-Díaz, 2016)

De manera similar a los coagulantes, se ha buscado una alternativa para la desinfección del agua con productos naturales. Alrededor del 80% de los medicamentos antibacterianos y anticancerígenos, son derivados de medicamentos naturales (a base de plantas) (V. Lazarova, 1999). Por ejemplo, se encontró que con *Plantago ovata* se removieron coliformes totales y fecales de 550 UFC/100mL a 100 UFC/100 mL a una dosis de 5mg/L, obteniendo una mejora en la calidad bacteriológica (Ramavandi, 2014).

5.3 UBICACIÓN

El Río Teusacá pasa por la vereda El Salitre, la cual se encuentra clasificada como “territorio rural”, en el POT de La Calera (Concejo Municipal de la Calera, 2010). La Calera hace parte de los 116 municipios de Cundinamarca. Su ubicación se muestra a continuación.

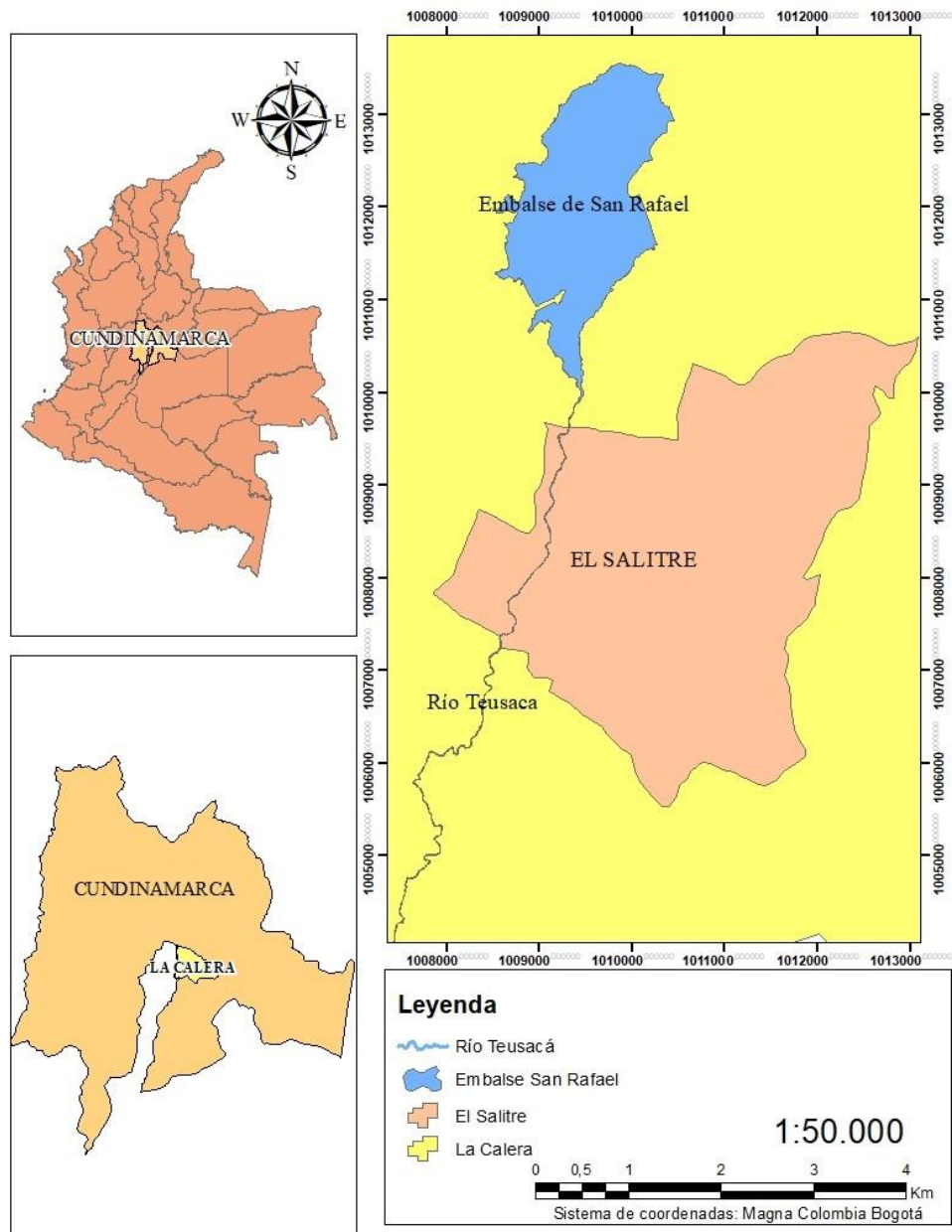


Figura 1. Ubicación del Río Teusacá y la vereda El Salitre en el Municipio La Calera, Cundinamarca

5.4 MARCO CONCEPTUAL

- *Opuntia Ficus-indica*: “Las Opuntias son arbustos rastreros o verticales que puede crecer a 3.5-5 metros de altura. El sistema de raíz es extenso, densamente ramificado y con finas raíces de absorción superficial muy adecuadas para zonas áridas. La longitud de las raíces está estrechamente relacionada a las condiciones agroambientales prevalecientes y a las prácticas de manejo de cultivos, particularmente el uso y la aplicación de riego y fertilizantes” FAO (2013)
- Desinfectante: “Es un agente que se libera de la infección; Por lo general, un agente químico que destruye gérmenes de enfermedades u otros microorganismos dañinos o desactiva los virus” Block (2001)
- Organismos patógenos: Son hongos, bacterias, virus y nemátodos los cuales producen un impacto a la salud (Guigon & Gonzalez, 2001)
- Aguas residuales: “Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria” República de Colombia (2000).
- Turbidez: “La dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos” Lapeña (1990)

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA

1. Se obtuvo el agua de un vertimiento en el punto 04°40'49,9"N y 73°59'38,5"W. junto al Río Teusacá, y sus parámetros de calidad fueron:

PARÁMETROS	AGUA MUESTRA INICIAL
pH	7,96
DQO	87,46 mg/L
Oxígeno disuelto	5,18
Color	280 UPC
Alcalinidad	150 ppm CaCO ₃
Sólidos suspendidos totales	80 mg/l
Sólidos sedimentables	< 0,1 ml/L
Organismos microbiológicos: <i>Salmonella spp</i> <i>E. Coli</i> <i>Coliformes totales</i>	0UFC 80UFC 9UFC

Mediciones realizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Libre.2019

Tabla 2.Calidad del agua cruda

6.2 OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO Y EL POLVO

Para obtener el mucílago se realizó el pelado de la penca para eliminar las espinas y la cáscara.

Después de esto se lavó el cristal y se cortó en trozos de aproximadamente 15 cm y se procesó en un extractor marca Imusa Frutelia (400 watts de potencia) obteniendo así el mucílago, como se muestra en la **Figura 2**, de manera similar al estudio de Ruiz et al, (2011)



1) Pencas sin espinas



2) Pencas peladas



3) Mucílago

Figura 2. Obtención Mucílago

Para obtener el polvo, se desecó parte del mucílago en un horno durante 24 horas a 100°C, después se trituroó en un mortero y se pasó por un tamiz de malla de 450 Micras

6.3 PRUEBA DE JARRAS

En este estudio, se ensaya con variaciones en la forma de aplicación de la Tuna (tanto en polvo y mucílago) con dosis de 30mg/L, 40mg/L y 50 mg/L y velocidad de agitación de 50 rpm, 100 rpm y 200 rpm, según Trujillo y otros (2014) las velocidades de agitación de mezcla rápida están entre el rango de 75-300rpm y el trabajo de Olivero, Aguas, Mercado, Casas y Montes (2014) demostró que las remoción más altas se obtuvieron con velocidades de 100 y 200 rpm con una dosis de 40mg/L, durante 20 minutos. Cada ensayo se realizó por triplicado. Con cada ensayo se midió turbidez para determinar la eficiencia de remoción de la Tuna en polvo y en mucílago. Adicionalmente, se realizó una prueba con alumbre con cada velocidad y cada dosis, para comparar la eficacia obtenida de los coagulantes (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 4)

Dosis(mg/L)- velocidad (rpm)	Turbidez inicial (NTU)	% Remoción	% Promedio remoción
30-50	40,8	35,15	35
	51,4	34	
	37,9	35,85	
30-100	56,6	31,12	36,77
	41,8	39	
	42,7	40,19	
30-200	44,8	46,43	47,7
	55,6	50,18	
	44,3	46,5	
40-50	45,5	46,81	52,25
	54,2	51,48	
	56,1	58,47	
40-100	40,8	37,75	35,69
	36,4	37,09	
	36	32,22	
40-200	37,7	43,14	44,14
	41,2	49,2	
	37,7	40,09	
50-50	35	48,01	51,46
	44,6	50,35	
	52,6	56,01	
50-100	40,4	50,5	46,47
	46,5	51,18	
	41,6	37,74	
50-200	42,8	59,55	53,85
	59,6	51,09	
	65,4	50,91	

Tabla 3. Resultado ensayo de jarras polvo

Dosis(mg/L))- velocidad (rpm)	Turbidez inicial (NTU)	% Remoción	% Promedio remoción
30-50	52,9	68,05	60,19
	42,4	58,73	
	49,11	53,78	
30-100	36,1	62,73	64,97
	36,2	68,57	
	38,2	63,61	
30-200	40,2	84,78	81
	40,2	78,18	
	41,3	80,05	
40-50	38	53,39	58,43
	48,3	60,87	
	44,3	61,04	
40-100	62,9	92,73	87,20
	78,2	81,33	
	68,4	87,54	
40-200	52,9	58,6	54,93
	52,1	56,81	
	57,1	49,39	
50-50	48,2	57,88	53,81
	44,2	50,95	
	60,7	52,6	
50-100	51,5	83,88	84,8
	49,8	82,03	
	52,7	88,5	
50-200	34,2	80,09	80,59
	36,4	79,04	
	41	82,63	

Tabla 4.Resultado ensayos de jarras mucilago

En las Figura 3y Figura 4 se pueden observar los resultados de los ensayos de jarras por triplicado

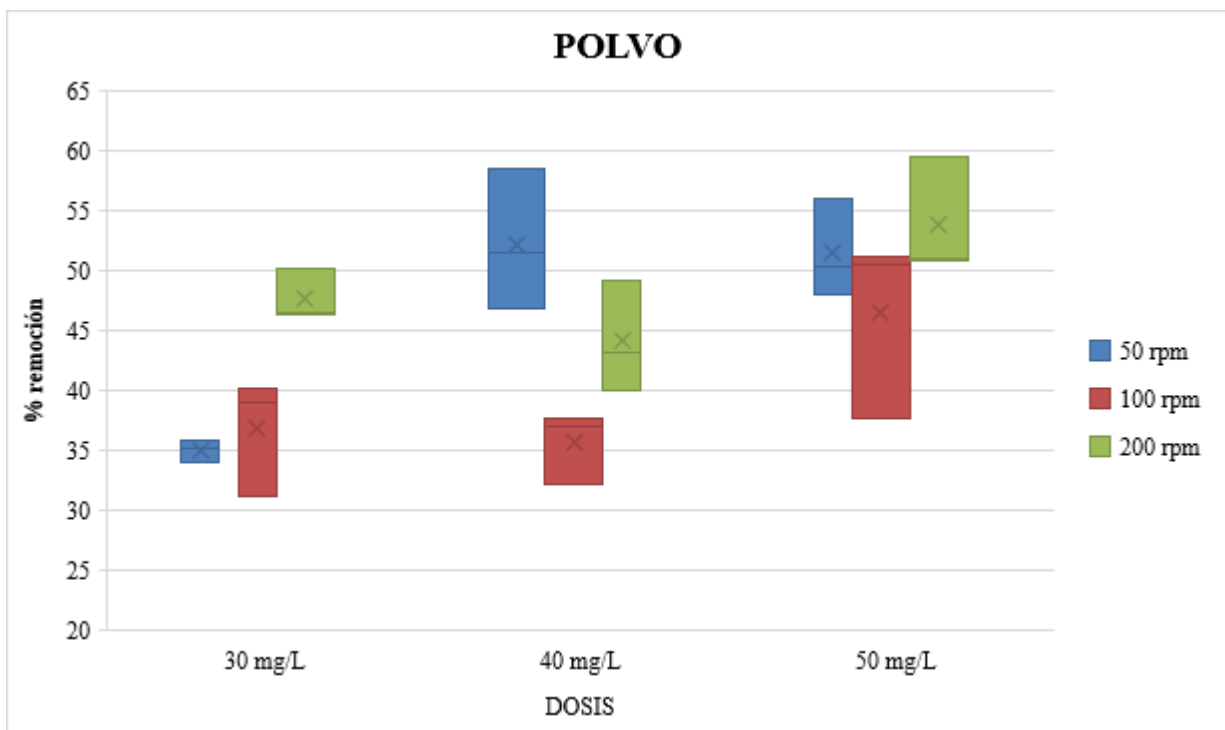


Figura 3. Ensayo de jarras por triplicado del polvo

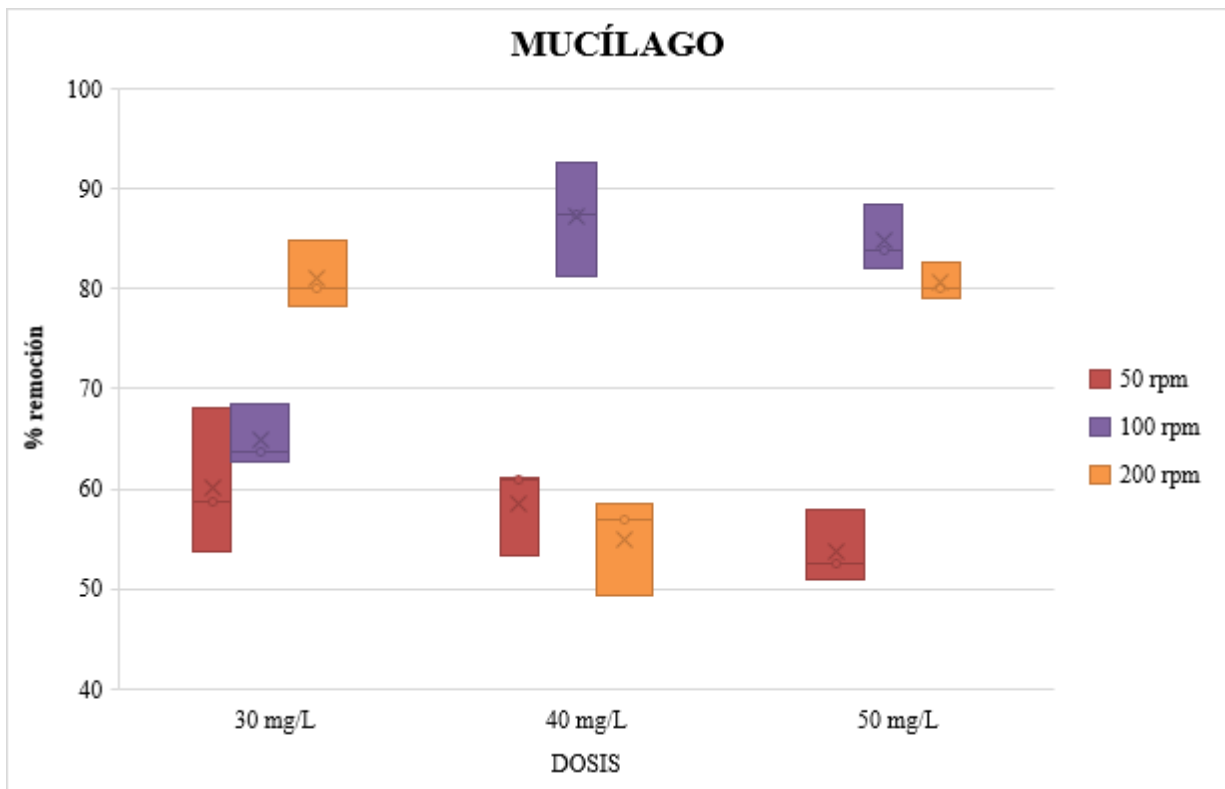


Figura 4. Ensayo de jarras triplicado del mucílago

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar el promedio de los ensayos por triplicado de los coagulantes, cabe resaltar que del alumbre solo se realizó un ensayo de jarras por cada variación de parámetros

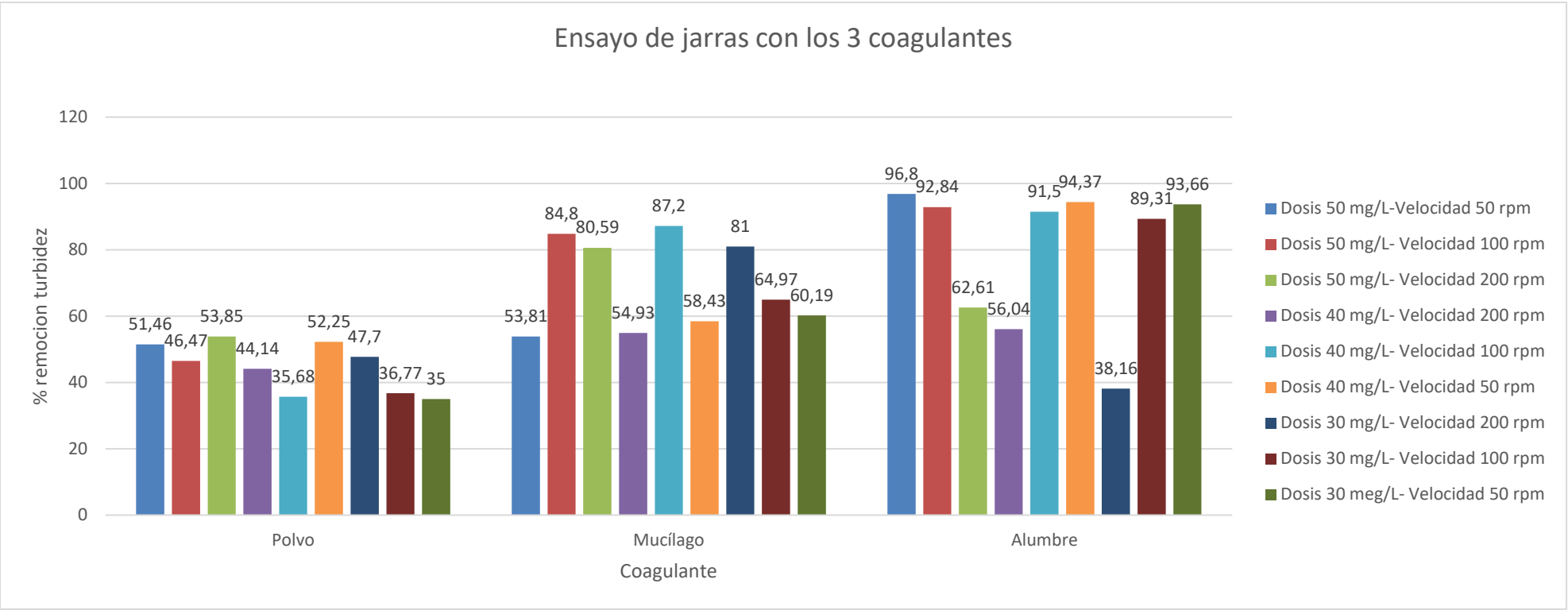


Figura 5. Gráfico Remoción de turbidez de los 3 coagulantes

6.4 PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS

Las pruebas microbiológicas se hicieron con las condiciones óptimas de cada coagulante, se realizaron 3 conteos por coagulante, los resultados son los siguientes:

TIPO DE AGUA	<i>E. coli</i>	COLIFORMES TOTALES
Agua cruda	80 UFC	9 UFC
Agua tratada con mucílago	80 UFC	9 UFC
Agua tratada con polvo	80 UFC	9 UFC
Agua tratada con alumbre	0 UFC	7 UFC

Tabla 5. Resultados microbiológicos

De la tabla anterior se aprecia que no hubo remoción de coliformes. No hubo presencia de *Salmonella sp* en ninguna de las muestras.

Respecto de la capacidad desinfectante de la Tuna, en sus dos formas, no hubo efecto desinfectante. Sin embargo, en las pruebas con alumbre fue evidente la remoción de coliformes, resaltando la remoción de *E. coli*, similarmente a lo trabajado por Olivero (2013) y de Paul, Donald, Harry y William (1984) donde se obtuvo una remoción del 99.9%, debido a que la concentración de microorganismos quedó suspendida en los flocs formados.

6.5 REMOCIÓN DE TURBIDEZ E INTERACCIÓN ENTRE FACTORES

Los mejores resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de remoción de turbidez, usando mucílago, el polvo y el alumbre fueron los siguientes:

COAGULANTE	PARÁMETROS	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
		TURBIDEZ
MUCÍLAGO	Velocidad: 100 rpm	92.73 %
	Dosis: 40 mg/L	
POLVO	Velocidad: 200 rpm	64.60 %
	Dosis: 50 mg/L	
ALUMBRE	Velocidad: 50 rpm	96.80 %
	Dosis: 50mg/L	

Tabla 6. Óptimas remociones

De las 27 combinaciones de velocidad y dosis probadas, en la Figura 6 se muestran las mejores remociones de turbidez logradas: 40mg/L a 100 rpm para el mucílago con una eficiencia del 92.37%, polvo con una eficiencia de 64.60 % a una velocidad de 200 rpm y una dosis de 50 mg/L y, alumbre con la más alta remoción del 96.80% a una velocidad de 50 rpm y una dosis de 50 mg/L.



Figura 6. Óptima calificación con los tres coagulantes

Para el análisis entre factores, se utilizó el programa R Studio versión 3.5.1.

6.5.1 Resultados con mucílago

Ahora, analizando la interacción entre los factores, la Figura 7 muestra el porcentaje de

eliminación de turbidez de cada combinación de velocidad y dosis. Existe interacción entre los factores con la variable de respuesta (porcentaje de eliminación de turbidez) ya que no hay líneas paralelas.

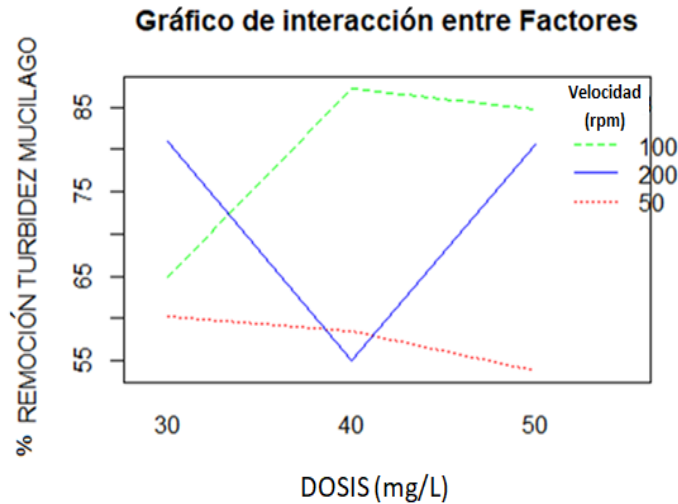


Figura 7. Gráfico de interacción entre factores del mucílago

En general, cada combinación de factores tiene un comportamiento diferente

En la línea de velocidad de 50 rpm, se observa que aumentar la dosis de mucílago de 30 mg / L a 40 mg/L y 50 mg /L disminuye el porcentaje de eliminación de turbidez a 53,81%, lo que indica que cuanto mayor es la dosis, menor es el porcentaje de eliminación de partículas, como lo menciona Mendoza (2015). Esto se debe a la baja velocidad de agitación que no permite que el coagulante se distribuya uniformemente (Zhu, y otros, 2012), lo que afecta el proceso de coagulación y floculación porque no hay una buena interacción de las partículas y el coagulante para la formación de flóculos

Para una velocidad de 200 rpm, se puede decir que al aumentar la dosis de 30 mg / L a 40 mg / L de mucílago, el porcentaje de eliminación de turbidez disminuye considerablemente de 81% a 54.93%, haciendo de esta combinación, el uso de mucílago menos viable. Sin embargo, al

aumentar la dosis a 50 mg / L, la capacidad de eliminación es casi la misma que en la dosis mínima de coagulante con 80,59%. Por lo tanto, si el mucílago se usara en un sistema de tratamiento de agua, es factible usar la dosis más baja de 30 mg / L a 200 rpm, lo que reduce los costos para la implementación del coagulante orgánico.

Para la velocidad de 100 rpm, se observa que cuanto mayor es la dosis, mayor es su porcentaje de eliminación de turbidez, alcanzando su pico más alto en 87,2% para 40 mg / L. El aumento de la dosis a 50 mg / L muestra una ligera disminución en la eliminación de la turbidez, que puede ser causada por un cierto grado de saturación de coagulante en el agua que cubre la superficie de la partícula y no permite la creación de puentes entre las partículas para formar flóculos. (Ebeling, Rishel, & Sibrell, 2005) Aun así, todavía es una buena condición para trabajar con este coagulante, lo que arroja una tasa de eliminación de turbidez del 84,8%.

En la Figura 8, se puede ver la correlación o dependencia de la variable de respuesta (porcentaje de remoción de turbidez del agua tratada con mucílago) con factores de dosis y velocidad.

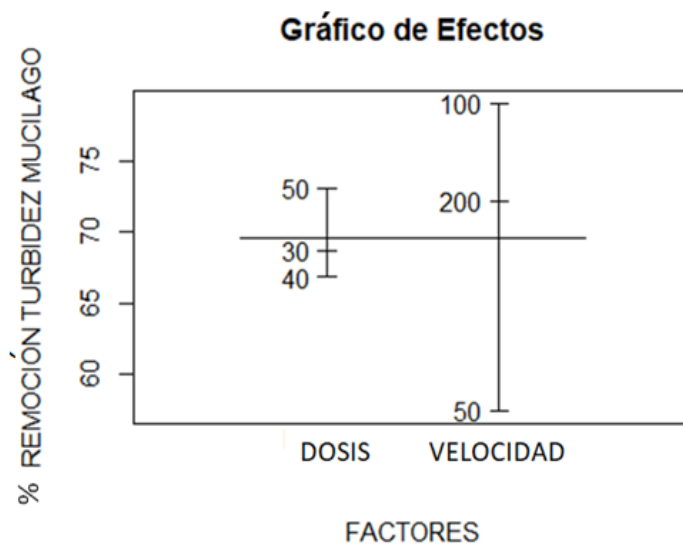


Figura 8. Gráfico de efectos del mucílago

De la Figura 8 es posible decir que el factor que tiene el mayor efecto en la eliminación de turbidez es la velocidad, porque el rango vertical de velocidad es más amplio que el rango de dosis. Esto significa que cualquier cambio realizado en el factor de velocidad tendrá más influencia en la eliminación de la turbidez que un cambio en el factor de dosis.

6.5.2 Resultados con Polvo

Ahora, con respecto a las pruebas con polvo, en la

Figura 11. Ubicación de la red de tuberías

, las 200 rpm y 100 rpm tienen un comportamiento similar, donde cuanto mayor es la dosis, mejor porcentaje de eliminación, pero no en la misma proporción. Es decir, para ambas velocidades, al aumentar la dosis a 40 mg / L, su capacidad para eliminar partículas en el agua disminuye, lo que indica que no es la mejor combinación ya que a una velocidad de 100 rpm se

obtuvo el resultado más bajo, con un 35,68% de eliminación de turbidez. Cuando se aumentó la dosis a 50 mg / L de polvo, la efectividad para eliminar la turbidez en el agua tratada aumentó a 53,85% a una velocidad de 200 rpm, como el mejor resultado obtenido en esta prueba ya que a mayor velocidad de agitación mayor es la cantidad de colisiones entre las partículas dando oportunidad para que se formen los flocs (Cogollo, 2010)

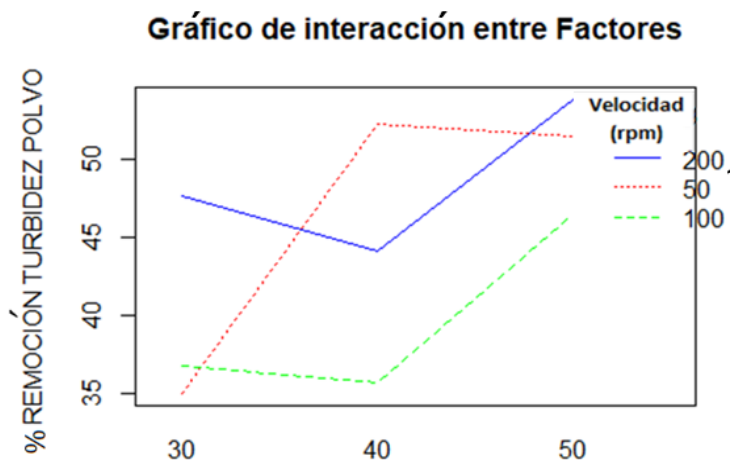


Figura 9. Gráfico de interacción entre factores del polvo

Para 50 rpm a una dosis de 40 mg / L, alcanzó su máxima capacidad de remoción a un 52.25%, pero a medida que la dosis continúa aumentando; su porcentaje de remoción de turbidez tiende a caer. Esto significa que, para 50 rpm, El aumento de la dosis por encima de los 40 mg / L disminuye la efectividad del polvo como coagulante debido a que el aumento de la dosis disminuye la efectividad de eliminar la turbidez debido a que al sobrepasar la dosis optima de coagulante, esta puede generar nuevos coloides, contribuyendo a la turbidez presente en el agua (Ahmad, Mat, Derek, & Lim, 2011)

Según la Figura 10, la dosis es el factor que tiene la mayor influencia en el porcentaje de remoción de turbidez para el agua tratada con polvo de Tuna debido a que su rango vertical es mayor que el rango de velocidad.

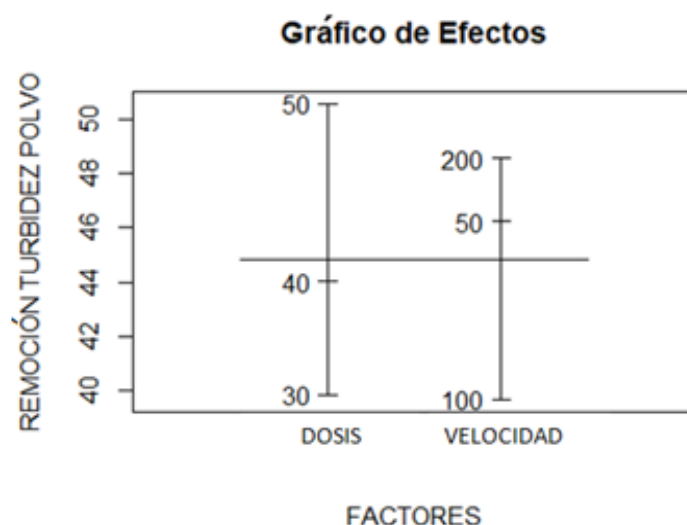


Figura 10. Gráfico de efectos del polvo

6.6 COMPARACIÓN CON LA RESOLUCIÓN 631/15

Tanto el mucílago como el polvo mostraron una eficiencia dentro de los parámetros de DQO, sólidos suspendidos totales y pH para aguas residuales domésticas de las soluciones individuales de saneamiento de vivienda unifamiliares o bifamiliares de la Resolución 631 del 2015 de la norma colombiana. (Ver Tabla 7)

PARÁMETROS	POLVO	MUCÍLAGO	RESOLUCIÓN
pH	8.00	8.00	6.00-9.00
Sólidos suspendidos totales	50mg/L	20mg/L	90mg/L
DQO	64 mg/L O_2	44 mg/L O_2	90 mg/L O_2

Tabla 7. Parámetros Resolución 631/15

En cuanto a la DQO, el coagulante en polvo tuvo una eficiencia de remoción del 26.82%, el mucílago del 48.78% y el alumbre el 81.70%; con todos los coagulantes se cumple el límite establecido por la norma Colombiana, aunque la Tuna no cumple con grandes remociones de DQO, los coagulantes orgánicos han arrojado datos positivos (hasta del 90%) en cuanto a la disminución de la DQO, por eso el uso de la Tuna como coagulante puede ser efectivo para estos

procedimientos como complemento (Arias, Hernandez, Castro, & Sanchez, 2017)

6.7 DISEÑO DE LA RED DE TUBERÍA

Para la realización de la se obtuvo una geodatabase del municipio La Calera en la plataforma del IGAC, que proporcionó información sobre las construcciones y las curvas de nivel, con ayuda del programa Arcgis versión 10.3 se crea un shapefile de las casas construidas en la vereda El Salitre, municipio La Calera determinando así el área de influencia del proyecto donde se encuentra la mayor densidad de casas cerca al río Teusacá ubicando así el polígono de influencia. En el anexo 1, Figura 11 se puede observar el mapa escalado

El número promedio de personas por hogar en área rural censada en el departamento de Cundinamarca es de 3 personas (DANE, 2014), y el número de casas según el mapa de conectividad de tuberías es de 202, entonces al multiplicar las 3 personas por el número de casas, se tiene una población de 606 personas. Según la empresa EPM (2020) una persona consume en promedio $3,8 \text{ m}^3$ de agua al mes, calculando de la siguiente forma el caudal:

$$Q = 606 \text{ personas} \times 3,8 \text{ m}^3 \text{ al mes} = 76,76 \text{ m}^3 \text{ al día} = 8,88 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \text{ (1)}$$

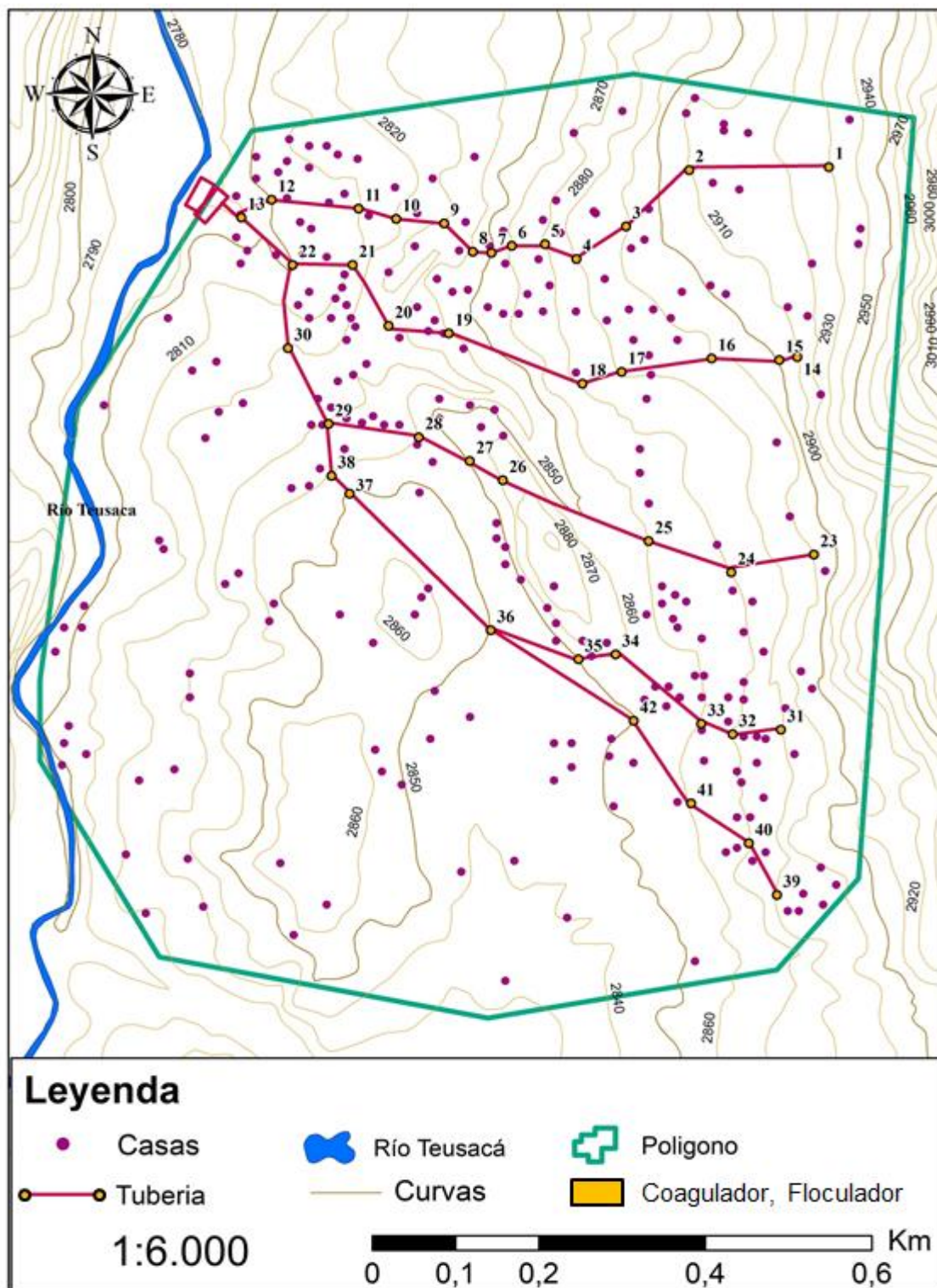


Figura 11. Ubicación de la red de tuberías

Adicionalmente, siguiendo la metodología del RAS 2000 Título B, capítulo 2 (**Ministerio de Vivienda, 2014**) y con la información encontrada en el PBOT, la población rural en La Calera para el 2010 era de 14939 habitantes y para el 2032 se proyectan 11286 habitantes, se determina la tasa de crecimiento anual con la siguiente formula:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1 \quad (2)$$

Donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

$$r = \left(\frac{11286}{14939} \right)^{\frac{1}{(2032-2010)}} - 1 = -0.0126 \times 100\% = -1.26\%$$

Con la tasa de crecimiento anual se puede calcular la población para el año 2046. Para El Salitre el periodo de diseño es a 25 años debido a que en la Tabla D. 1.1. Asignación del nivel de complejidad del sistema al tener una población menor a 2500 habitantes el nivel del proyecto es de baja complejidad.

Por medio del método geométrico se obtuvo la población para el año proyectado asumiendo que para el año 2020 la población son 606 habitantes

$$P_{f2046} = P_{uc}(1 - r)^{T_f - T_i} \quad (3)$$

Donde:

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

$$P_{f2046} = 606(1 + (-0.0126))^{2046-2020}$$

$$P_{f2046} = 435,8 \text{ habitantes} = 436 \text{ habitantes}$$

De acuerdo con los cálculos anteriores se decide tomar la población mayor para los cálculos del diseño que es la del 2020 de 606 personas, tomando así el mayor caudal para el sistema en los próximos 25 años.

Continuando con la metodología del RAS 2000, Título D, Capítulo 3 (Ministerio de Vivienda, 2016) se entra a determinar el caudal de aguas residuales domésticas (Q_D).

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{neta}}{86400} \quad (4)$$

Donde:

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).

D_{neta} = Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día). El coeficiente de retorno para un sistema de baja complejidad es de 0.80

$$D_{neta} = 3.8 \frac{m^3}{mes \times habitante} = 126 \text{ L/día} \times habitante$$

Reemplazando en la ecuación

$$Q_D = \frac{0.80 \times 606 \times 126 \text{ L/hab/día}}{86400}$$

$$Q_D = 0.707 \frac{L}{s} = 0.707 \times 10^{-3} m^3/s$$

Para calcular el caudal medio diario de aguas residuales (Q_{mD}) se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_{mD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN} \quad (5)$$

Donde:

Q_{mD} = Caudal medio diario de aguas residuales (m³ /s).

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (m³ /s).

Q_I = Caudal de aguas residuales industriales (m³ /s).

Q_C = Caudal de aguas residuales comerciales (m³ /s).

Q_{IN} = Caudal de aguas residuales institucionales (m³ /s).

Asumiendo que el proyecto va enfocado a prestar el servicio únicamente a las residencias que se encuentran en el polígono de influencia, el caudal de agua residuales industriales, comerciales e institucionales se toma como cero (0).

$$Q_{mD} = 0.707 \times 10^{-3} m^3/s$$

Para hallar el caudal máximo horario final (Q_{MHf}) se toma la siguiente ecuación:

$$Q_{MHf} = F \times Q_{Df} + Q_{If} + Q_{Cf} + Q_{INf} \quad (6)$$

Para determinar el factor de mayoración se utiliza la ecuación de Gaines debido a que el caudal medio esta entre 0.28 y 4250 L/s

$$F = \frac{3.114}{(Q_{mD})^{0.062}} \quad (7)$$

$$F = \frac{3.114}{(0.707)^{0.062}} = 3.18$$

Retomando la ecuación

$$Q_{MHf} = 3.0 \times 0.707 \times 10^{-3} m^3/s = 2.121 \times 10^{-3} m^3/s$$

Para calcular el caudal de diseño para cada tramo de la red de tubería se toma la siguiente ecuación:

$$Q_{DT} = Q_{MHf} + Q_{INF} + Q_{CE} \quad (8)$$

Donde:

Q_{DT} = Caudal de diseño para cada tramo de la red (m³ /s).

Q_{MHf} = Caudal máximo horario final (m³ /s).

Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (m³ /s).

Q_{CE} = Caudal por conexiones erradas (m³ /s).

Se asume que el caudal por infiltraciones y conexiones erradas es cero, el caudal de diseño es igual al caudal máximo horario final aportado por el número de casas en cada tramo de la red de tuberías. Si el caudal máximo horario es menor que 1.5 L/s se toma este valor como caudal de diseño para el tramo de la tubería. La longitud de cada tramo se calcula con la escala numérica.

Se determina la cota batea superior de la siguiente manera:

Cota batea superior = curva de nivel – la profundidad de la tubería

Cota batea inferior = curva de nivel- la profundidad de la tubería- diámetro de la tubería

En los casos en los que no hay diferencia entre las curvas de nivel se resta el doble de la profundidad de la tubería para agregar pendiente al tramo.

La pendiente en cada tramo se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{\text{cota batea superior} - \text{cota batea inferior}}{\text{longitud de la tubería}} \times 100\% \quad (9)$$

De acuerdo con el RAS 2000, Título D, capítulo 3 (Ministerio de Vivienda, 2016) el diámetro interno mínimo para una tubería sanitaria para sistemas con niveles de baja complejidad es de 145 mm. En este caso se toma un diámetro interno de 148.40 mm

En cuanto a la velocidad, se emplea la ecuación de Manning para hallar la velocidad a tubo lleno.

$$V = \frac{1D^{2/3}S^{1/2}}{n*4} \quad (10)$$

Donde:

V = Velocidad a tubo lleno m/s

D = Diámetro de la tubería mm

S = Pendiente de la tubería m/m

n = Coeficiente de rugosidad

Al determinar la velocidad a tubo lleno y conociendo el diámetro de la tubería, se puede calcular el caudal a tubo lleno mediante la siguiente ecuación:

$$Q_0 = V * A = V * \frac{\pi D^2}{4} \quad (11)$$

De acuerdo con la tabla 2.5 Relaciones hidráulicas de Pérez Carmona (2013) se puede determinar la velocidad real y la altura de la lámina de agua en cada tramo de la red de tuberías.

Uno de los parámetros que nos indica que el sistema está correctamente diseñado es cuando la velocidad mínima es mayor a 0.45 m/s y la velocidad máxima es de 5 m/s (Ministerio de Vivienda, 2016). Como se ve en las velocidades mínimas y máximas cumplen con el rango de diseño.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los parámetros base para realizar el diseño de la red de tuberías y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los cálculos realizados para la misma.

PARÁMETROS DE DISEÑO	
POBLACIÓN TOTAL(HAB)	606
POBLACIÓN POR CASA	3
DOTACIÓN NETA (m ³ /mes*hab)	3,8
DOTACIÓN (L/día*hab)	126
COEFICIENTE DE RETORNO	0,8
COEFICIENTE DE MANNING	0,01
PROFUNDIDAD TUBERÍA (m)	1,2

Tabla 8. Parámetros base de diseño red de tuberías

TRAMO	CASAS	POBLACIÓN (HAB)	CAUDAL R. D MEDIO (L/s)	FACTOR DE MAYORACIÓN	CAUDAL R.D MAX (m³3/s)	CAUDAL R.D MAX ACUMULADO (L/s)	CAUDAL DISEÑO (m³3/s)	LONGITUD (m)	COTA TERRENO SUP	COTA TERRENO INF	COTA BATEA SUPERIOR	COT BATEA INFERIOR	PENDIENTE TUBERIA (%)	DIAMETRO TUBERÍA (mm)	VELOCIDAD TUBERIA (m/s)	CAUDAL A TUBO LLENO (L/s)	Q/Q0	V/V0	VELOCIDAD REAL (m/s)	Y/D	ALTURA LAMINA DE AGUA (mm)
1 a 2	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,043	1,50	186	2930	2910	2928,66	2908,66	10,8	144,6	2,25845	37,088	0,04	0,398	0,90	0,148	0,021
2 a 3	7	21	0,0245	3,919	0,00010	0,139	1,50	120	2910	2890	2908,66	2888,66	16,7	144,6	2,81175	46,175	0,03	0,366	1,03	0,126	0,018
3 a 4	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,196	1,50	72	2890	2880	2888,66	2878,66	13,9	144,6	2,56676	42,151	0,04	0,398	1,02	0,148	0,021
4 a 5	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,240	1,50	36	2880	2870	2878,66	2868,66	27,8	144,6	3,62995	59,611	0,03	0,327	1,19	0,099	0,014
5 a 6	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,283	1,50	54	2870	2860	2868,66	2858,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,148	0,021
6 a 7	5	15	0,0175	4,002	0,00007	0,353	1,50	42	2860	2850	2858,66	2848,66	23,8	144,6	3,36068	55,189	0,03	0,366	1,23	0,126	0,018
7 a 8	6	18	0,021	3,957	0,00008	0,436	1,50	36	2850	2840	2848,66	2838,66	27,8	144,6	3,62995	59,611	0,03	0,366	1,33	0,126	0,018
8 a 9	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,479	1,50	66	2840	2830	2838,66	2828,66	15,2	144,6	2,68090	44,026	0,03	0,366	0,98	0,148	0,021
9 a 10	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,536	1,50	36	2830	2820	2828,66	2818,66	27,8	144,6	3,62995	59,611	0,03	0,366	1,33	0,126	0,018
10 a 11	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,580	1,50	54	2820	2810	2818,66	2808,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,148	0,021
11 a 12	2	6	0,007	4,236	0,00003	0,609	1,50	114	2810	2800	2808,66	2798,66	8,8	144,6	2,03986	33,499	0,04	0,398	0,81	0,185	0,027
12 a 13	15	45	0,0525	3,738	0,00020	0,806	1,50	54	2800	2790	2798,66	2788,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,168	0,024
14 a 15	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,043	1,50	24	2910	2900	2908,66	2898,66	41,7	144,6	4,44577	73,008	0,02	0,327	1,45	0,099	0,014
15 a 16	1	3	0,0035	4,422	0,00002	0,059	1,50	96	2900	2890	2898,66	2888,66	10,4	144,6	2,22288	36,504	0,04	0,398	0,88	0,148	0,021
16 a 17	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,102	1,50	120	2890	2880	2888,66	2878,66	8,3	144,6	1,98821	32,650	0,05	0,398	0,79	0,168	0,024
17 a 18	10	30	0,035	3,833	0,00013	0,236	1,50	54	2880	2870	2878,66	2868,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,126	0,018
18 a 19	2	6	0,007	4,236	0,00003	0,266	1,50	186	2870	2840	2868,66	2838,66	16,1	144,6	2,76603	45,424	0,03	0,366	1,01	0,126	0,018
19 a 20	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,323	1,50	66	2840	2830	2838,66	2828,66	15,2	144,6	2,68090	44,026	0,03	0,366	0,98	0,126	0,018
20 a 21	8	24	0,028	3,887	0,00011	0,432	1,50	90	2830	2810	2828,66	2808,66	22,2	144,6	3,24673	53,318	0,03	0,366	1,19	0,126	0,018
21 a 22	6	18	0,021	3,957	0,00008	0,515	1,50	78	2810	2800	2808,66	2798,66	12,8	144,6	2,46607	40,498	0,04	0,398	0,98	0,148	0,021
22 a 13		0	0,1295	3,535	0,00046	0,973	1,50	96	2800	2790	2798,66	2788,66	10,4	144,6	2,22288	36,504	0,04	0,398	0,88	0,148	0,021
23 a 24	2	6	0,007	4,236	0,00003	0,030	1,50	114	2890	2870	2888,66	2868,66	17,5	144,6	2,88479	47,374	0,03	0,366	1,06	0,126	0,018
24 a 25	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,073	1,50	114	2870	2860	2868,66	2858,66	8,8	144,6	2,03986	33,499	0,04	0,398	0,81	0,148	0,021
25 a 26	9	27	0,0315	3,859	0,00012	0,195	1,50	204	2860	2860	2858,66	2856,06	1,3	144,6	0,77754	12,769	0,12	0,564	0,44	0,264	0,038
26 a 27	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,238	1,50	60	2860	2850	2858,66	2848,66	16,7	144,6	2,81175	46,175	0,03	0,366	1,03	0,126	0,018
27 a 28	3	9	0,0105	4,131	0,00004	0,281	1,50	90	2850	2840	2848,66	2838,66	11,1	144,6	2,29578	37,701	0,04	0,398	0,91	0,148	0,021
28 a 29	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,338	1,50	84	2840	2830	2838,66	2828,66	11,9	144,6	2,37636	39,025	0,04	0,398	0,95	0,148	0,021
29 a 30	12	36	0,042	3,790	0,00016	0,497	1,50	120	2830	2820	2828,66	2818,66	8,3	144,6	1,98821	32,650	0,05	0,426	0,85	0,168	0,024
30 a 22	5	15	0,0175	4,002	0,00007	0,567	1,50	108	2820	2810	2818,66	2808,66	9,3	144,6	2,09575	34,417	0,04	0,398	0,83	0,185	0,027
31 a 32	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,057	1,50	114	2880	2870	2878,66	2868,66	8,8	144,6	2,03986	33,499	0,04	0,398	0,81	0,148	0,021
32 a 33	6	18	0,021	3,957	0,00008	0,140	1,50	96	2870	2860	2868,66	2858,66	10,4	144,6	2,22288	36,504	0,04	0,398	0,88	0,148	0,021
33 a 34	7	21	0,0245	3,919	0,00010	0,236	1,50	60	2860	2860	2858,66	2856,16	4,2	144,6	1,40587	23,087	0,06	0,398	0,56	0,185	0,027
34 a 35	5	15	0,0175	4,002	0,00007	0,306	1,50	90	2860	2850	2858,66	2848,66	11,1	144,6	2,29578	37,701	0,04	0,398	0,91	0,148	0,021
35 a 36	7	21	0,0245	3,919	0,00010	0,402	1,50	84	2850	2850	2848,66	2846,16	3,0	144,6	1,18818	19,512	0,08	0,495	0,59	0,215	0,031
36 a 37	5	15	0,0175	4,002	0,00007	0,472	1,50	120	2850	2850	2848,66	2846,16	2,1	144,6	0,99410	16,325	0,09	0,515	0,51	0,228	0,033
37 a 38	1	3	0,0035	4,422	0,00002	0,487	1,50	54	2850	2840	2848,66	2838,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,126	0,018
38 a 29	7	21	0,0245	3,919	0,00010	0,583	1,50	54	2840	2830	2838,66	2828,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,126	0,018
39 a 40	7	21	0,0245	3,919	0,00010	0,096	1,50	60	2880	2870	2878,66	2868,66	16,7	144,6	2,81175	46,175	0,03	0,366	1,03	0,126	0,018
40 a 41	4	12	0,014	4,058	0,00006	0,153	1,50	54	2870	2860	2868,66	2858,66	18,5	144,6	2,96384	48,672	0,03	0,366	1,08	0,126	0,018
41 a 42	5	15	0,0175	4,002	0,00007	0,223	1,50	150	2860	2850	2858,66	2848,66	6,7	144,6	1,77831	29,203	0,05	0,426	0,76	0,168	0,024
42 a 36		0	0,056	3,723	0,00021	0,431	1,50	78	2850	2850	2848,66	2847,46	1,5	144,6	0,85427	14,029	0,11	0,553	0,47	0,168	0,024
13 al coagulador	4	12	0,014	4,058	0,00006	2,345	2,35	18	2790	2790	2788,66	2787,46	6,7	144,6	1,77831	29,203	0,08	0,495	0,88	0,168	0,024

Tabla 9. Cálculos red de tuberías

6.8 DISEÑO DEL COAGULADOR-FLOCULADOR

6.8.1 Información general de sistema

- **Coagulador:** Coagulador mecánico, su agitador es una turbina (6 placas planas)

Coagulante orgánico: Se maneja una dosificación de 40 mg/L de mucílago*.

Velocidad: de 100 rpm. El material del tanque será de fibra de vidrio

***según el resultado obtenido en la Tabla 6. Óptimas remociones**

, pág 27

- **Floculador:** Floculador mecánico de paletas metálicas, el cual debe ser limpiado una vez por semana. El material del tanque será de fibra de vidrio

Caudal: No se realizaron aforos, por la dificultad en detectar individualmente todos los puntos de vertimientos en la vereda. Se hace la estimación del caudal de 76.76 m³ al día

- Diseño del sistema:

1. Coagulador: se muestran los cálculos para el diseño del coagulador, donde:

V: volumen del tanque (m³)
G: gradiente de mezcla (s⁻¹)
t: tiempo de reacción (s)
Q: caudal (m³/s)
C: dosis mg/L
 μ : viscosidad del líquido- se aproxima una temperatura de 20°C (N*s/m²)
P: Potencia del motor (J)
Pr= Potencia real del motor (j)

n= eficiencia del motor (adimensional)
H: altura del tanque (m)
d: diámetro de paletas (m)
h: altura de paleta al tanque (m)
w: altura paleta (m)
e: espesor (m)
l: largo (m)
b: ancho (m)

Se calcula el volumen del tanque con la ecuación 2

$$V= Q \times t \quad (12)$$

Donde se reemplaza la ecuación 2

$$V = 8.88 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 27 \text{ s} = 0.023 \text{ m}^3 = 2.3 \text{ Litros}$$

Entonces se tiene que:

$$V = l \times H \times b, \text{ entonces } l = H = b \text{ (13) asumiendo un tanque cúbico}$$

Se reemplaza la ecuación 3:

$$l = \sqrt[3]{0.023 \text{ m}^3} = 0.28 \text{ m} = 28 \text{ cm}$$

para el diámetro de la paleta se calcula de la siguiente manera:

$$d = \frac{l}{3} \text{ (14)}$$

Se reemplaza la ecuación 4:

$$d = \frac{0.28 \text{ m}}{3} = 0.09 \text{ m} = 9 \text{ cm}$$

Se tiene que poner una barrera rompe vórtices, que es el grosor tomado por e:

$$e = \frac{l}{10} \text{ (15)}$$

Se reemplaza la ecuación 5:

$$e = \frac{0.28 \text{ m}}{10} = 0.03 \text{ m}$$

La altura de la paleta se calcula:

$$W = \frac{d}{5} \text{ (16)}$$

Al reemplazar la ecuación 6:

$$W = \frac{0.09 \text{ m}}{5} = 0.02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$$

La altura de la paleta al tanque se calcula sabiendo que $0.75 \leq h/d \leq 1.3$

$$h = d \text{ (17)}$$

Entonces la altura será igual al diámetro de la paleta.

Para la potencia del motor se calcula:

$$G = \sqrt{\frac{P}{v \times \mu}} \text{ (18)}$$

Al despejar la ecuación 8 se calcula la potencia:

$$P = G^2 \times v \times \mu = (1000s^{-1})^2 \times 0.023m^3 \times 1,0 \times 10^{-3} Nxs/m^2 = 23 W$$

La eficiencia de la potencia del motor es de 0,91 (Motor De Inducción Eléctrico Monofásico Medio Hp 1800rpm New)

$$Pr = \frac{P}{n} \quad (19)$$

Al reemplazar la ecuación 9:

$$Pr = \frac{702}{0.91} = 771$$

En la Figura 12 se observa el diseño del coagulador

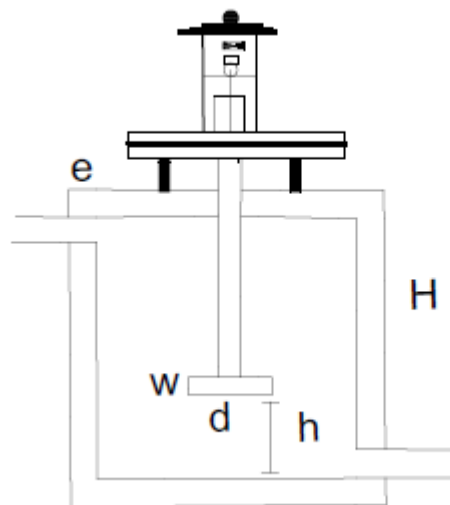


Figura 12. Coagulador
Fuente: Elaboración propia 2020
Figura sin escala

En el anexo 2, se encuentra el dibujo con escala

Nota: adicionalmente el grosor de cada pared es de 0,03m

2. Floculador: A continuación, se muestran los cálculos para el diseño del floculador, donde:

V= volumen de floculador (m^3)

P= potencia del motor (J)

As= área superficial (m^2)

At= área transversal (m^2)

B= ancho (m)

L= largo (m)

H= alto (m)

Ap= área de paletas (m^2)

Acp= área de cada paleta (m^2)

Np= número de paletas (adimensional)

Bp= ancho de paletas (m)

Lp= largo de la paleta (m)

h= altura de las paletas al tanque (m)

Q= caudal (m^3/s)

T= tiempo de retención (min)

G= gradiente de mezcla (s^{-1})

μ = viscosidad del líquido

- se aproxima una temperatura
de 20°C ($N*s/m^2$)

Para el cálculo del volumen del floculador se toma la siguiente ecuación,

$$V = Q \times T \quad (12)$$

Al reemplazar la ecuación 11, el tiempo de retención varió entre 10min-30min (Vargas, 2004),

se tomará un valor de 30 minutos

$$V = 0.053m \times 10^{-3}m^3/min \times 20 \text{ min} = 1.06m^3$$

Para el cálculo de la potencia del motor se despeja la ecuación 8, se tomará un gradiente de mezcla de $50s^{-1}$ (Vargas, 2004)

$$P = G^2 \times v \times \mu = 50s^{-1} \times 1.06m^3 \times 1.0 \times 10^{-3}Ns/m^2 = 2.65 \text{ W}$$

Se calcula el área superficial con la siguiente ecuación:

$$As = \frac{v}{H} \quad (20)$$

Se asigna una altura 1m, al reemplazar la ecuación 12:

$$As: \frac{1.06m^3}{1m} = 1.06m^2$$

Se hace una relación donde $l=b$, entonces

$$l = \sqrt{As} \quad (21)$$

Al reemplazar la ecuación 13:

$$l = \sqrt{1.06m^2} = 1m$$

Se calcula el área trasversal:

$$A_t = l \times H \quad (22)$$

Al remplazar la ecuación 14:

$$A_t = 1m \times 1m = 1m^2$$

Para el cálculo del área de las paletas, se necesita un factor que se denominará X el cual se tomará como 0,15, su valor es entre 0,1-0,15 (Mackenzie , 2010):

$$A_p = X \times A_t \quad (23)$$

Al remplazar la ecuación 15:

$$A_p = 0,15 \times 1m^2 = 0.15m^2$$

Se asigna que el número de brazos serán 2 y el número de paletas por brazos también serán 2

entonces:

$$N_p = \# \text{ brazos} \times \# \text{ paletas por brazo} \quad (24)$$

Al remplazar la ecuación 16

$$N_p = 2 \times 2 = 4$$

Después se calcula el área de cada paleta:

$$A_{cp} = \frac{0.15}{N_p} \quad (25)$$

Entonces:

$$A_{cp} = \frac{0.15m^2}{4} = 0.03m^2$$

Para calcular el ancho de la paleta se toma h como 0,15m

$$B_p = \frac{A_{cp}}{H-h} \quad (26)$$

Al remplazar la ecuación 18:

$$B_p = \frac{0.03m^2}{1m - 0.15m} = 0.03m$$

Para el largo de la paleta se usó la siguiente ecuación:

$$L_p = H - h \quad (27)$$

$$L_p = 1\text{m} - 0,15\text{m} = 0.85\text{m}$$

Debido a que las paletas tocarían el tanque se divide h en dos, dando $0,075\text{m}$, la altura final del fondo del tanque a las paletas

En la Figura 13 se observa el diseño del floculador

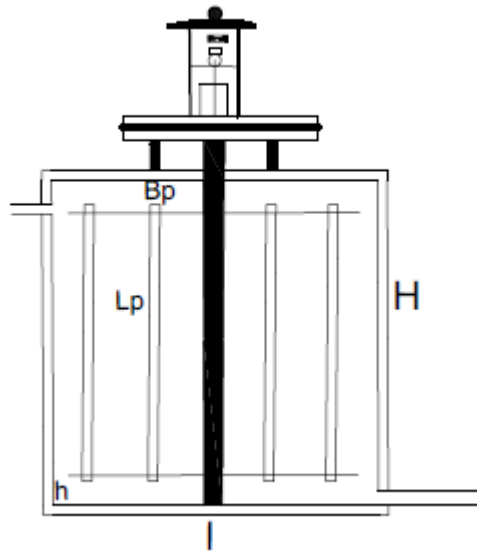


Figura 13. Floculador
Fuente: Elaboración propia 2020
Figura sin escala

Nota: adicionalmente el grosor de cada pared es de $0,03\text{m}$

En el anexo 3 se encuentra el dibujo con escala

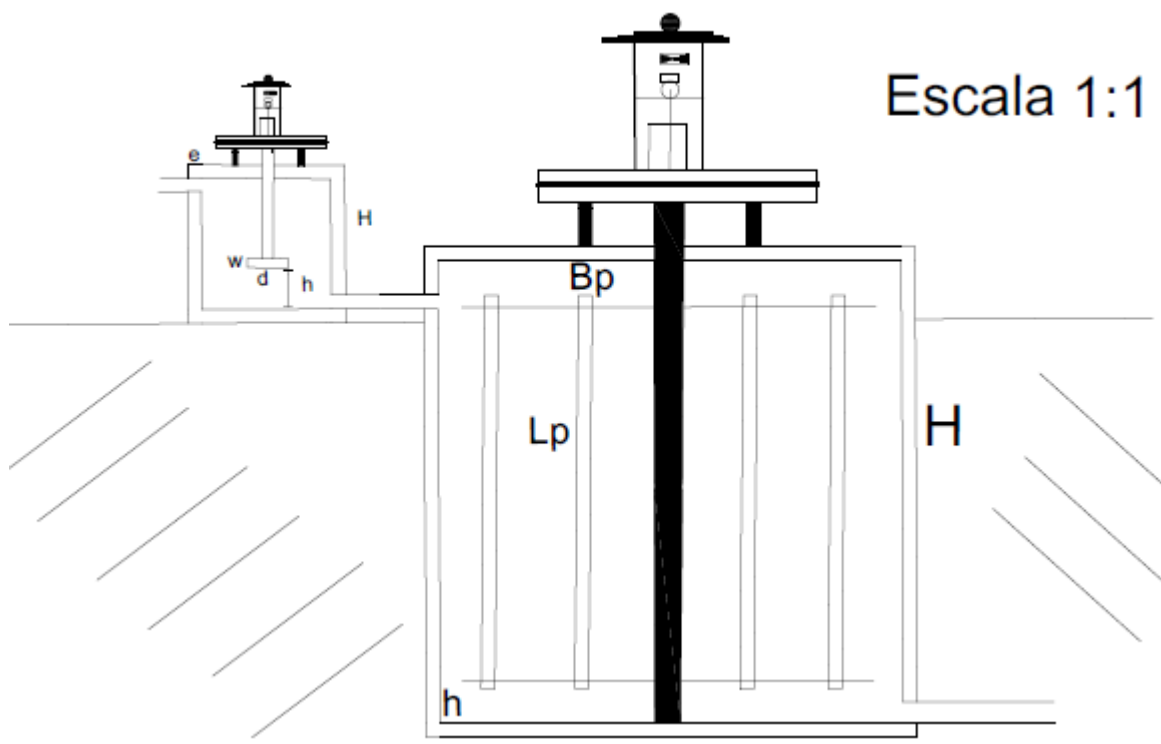


Figura 14. Coagulador- floculador
Fuente: Elaboración propia 2020
Figura sin escala

En el anexo 4 se encuentra el dibujo con escala

Cultivo de la Tuna:

Se sembrarán 3 pencas por metro cuadrado, con un tiempo de riego de 4 horas por semana, para lograr un mayor rendimiento en peso fresco, su peso será 10.61 gramos por las semanas que se deje cultivado, aproximadamente después de los 87 días de cultivado se puede ver su rendimiento, alcanzando 923,07 gramos, este peso alcanza para tratar 23 litros de agua residual. (Ruiz, y otros, 2008)

Consumo de energía:

Los motores monofásicos hp tiene un promedio de consumo de 2Kwh (Cooperativa de obras y servicios públicos, 2018).

Si funcionan los dos motores 10 horas al día tendría un consumo:

$$2\text{KW} \times 10\text{h} = 20\text{ KWh} \times 2 = 40\text{ KW/h}$$

Para el año 2020 el valor estipulado por Enel de \$/Kwh para el sector industria es de \$596,1365 (Enel, 2020), entonces:

$$40\text{ KW/h} \times 596,1365 = \$ 23845.46$$

La factura mensual tendría un valor aproximado de:

$$\$23845.46 \times 30 = \$715\,363$$

La comercialización de energía eléctrica de La Calera, se encuentra en competencia con tres empresas, las cuales son: Empresa de energía de Cundinamarca SA E.S.P, Americana de energía E.S.P y Enel Codensa, el cálculo de energía se hizo con Enel Codensa.

6.9 MANUAL DE OPERACIONES COAGULADOR- FLOCULADOR

El presente manual tiene como objetivo brindar las herramientas necesarias para hacer un uso adecuado del coagulador-floculador para aguas residuales y de esta manera garantizar vertimientos que cumplan los límites permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente.

6.9.1 Alcance

El manual aplica desde el ingreso del agua al coagulador hasta la salida después de la floculación.

6.9.2 Descripción del tratamiento

El agua a tratar llega en tubería de diámetro interno de 144,6 mm y 160 mm de diámetro nominal de los vertimientos generados por uso doméstico de la vereda El Salitre (ver anexo 1. Ubicación de la red de tuberías). El agua es trasladada a un coagulador por medio de una llave reguladora de caudal ($0,29\text{m}^3/\text{h}$), posteriormente se adiciona manualmente la dosis del coagulante orgánico (mucílago de Tuna), para ser trasladada al floculador, donde termina el tratamiento.

La Tuna debe ser cortada con machete y cuchillo y debe ser manipulada con guantes de carnaza, posteriormente se lava, se macera y dosifica.

6.9.3 Seguimientos del sistema:

Tema	Descripción	Frecuencia
Consumos coagulantes	Se hace un seguimiento a las entradas (insumos) y salidas (consumos)	Diario
Programación aseo	Establecimiento de rutinas de aseo	Semanal
Inspección operacional	Inspección a los motores según el manual del fabricante, así como la verificación de la limpieza de las paletas	Semanal

Tabla 10. Seguimientos del sistema

6.9.4 Información de seguridad:

Las precauciones que se mencionan en este manual no pretenden cubrir todos los peligros que existen o puedan presentarse en el coagulador-floculador.

El manejo adecuado de los dispositivos y elementos de seguridad proporcionan protección al personal y a los equipos del sistema, por esto es indispensable el uso de los elementos de seguridad requeridos: el casco, botas punteras, guantas, tapabocas y gafas de seguridad, adicionalmente siempre debe portar el overol.

Es importante tener en cuenta que solo el personal capacitado debe operar y hacer el

mantenimiento del sistema, así mismo es de vital importancia el reporte de cualquier novedad.

Se manejarán 3 turnos para los operadores. Los tres turnos de los operadores serán:
6:00am- 3:00pm, 2:00pm-10:00pm y 9:00pm-6:00am.

6.9.5 Manual de los equipos

Pasos para encender el coagulador y floculador:

1. Asegurarse que el motor esté conectado.
2. Colocar la muletilla del motor en ON, tanto el floculador como en el coagulador

Nota: Es importante tener en cuenta, que antes de iniciar el prendido en el coagulador debe verificar que las paletas estén limpias

- Si el motor genera humo, apagar el motor y comunicarse con el ingeniero encargado
- Si alguno de los equipos no enciende, comunicarse con el ingeniero encargado

Pasos para el apagado:

1. Colocar la muletilla en OFF
2. Desconectar los motores.

6.9.6 Operación del sistema:

Se deben encender siempre los dos motores, tanto el del coagulador como el del floculador, pero antes de encenderlos se tiene que revisar las paletas, debido a que el coagulante es un mucílago puede generar daños en la maquinaria si no ha tenido los seguimientos de mantenimiento y de aseo rutinarios.

6.9.7 Ensayo de jarras:

El ensayo de jarras debe hacerse diariamente, para asegurar hacer la dosificación adecuada para el tratamiento de las aguas residuales

Elementos necesarios:

- 1 balde de 10 Litros
- 1 Beaker, probeta o jarra de 1 L
- 1 Probetas de 1 L
- Cintas medido de pH
- Recipiente donde se almacena la Tuna

6.9.8 Inspección y reporte de novedades

El operador debe efectuar un control diario de las incidencias en el sistema, para de detectar lo antes posible cualquier problema de funcionamiento y tomar las medidas correctivas correspondientes.

A continuación, se describen las tareas diarias:

Pasos para seguir:

1. Verificar niveles de agua unidades de tratamiento
2. Verificar nivel de la Tuna, que estén siempre por encima de la mitad de la capacidad del tanque.
3. El operario debe realizar un recorrido por todo el sistema de tuberías con el fin de verificar el funcionamiento de todas y descartar fugas o problemas que disminuyan la eficiencia del tratamiento del agua.
5. Reporte de novedades

6.9.9 Manejo de la siembra y cultivo de la Tuna

Para eliminar plagas y nematodos se debe barbechar a una profundidad de 25 a 30 cm, y se debe pasar un rastro para acondicionar el suelo.

Para el trazado de la hilera de las plantas es necesario una estaca y una cinta de medir,

durante la plantación lo ideal es ubicar las caras de la penca hacia este y oeste (para disminuir quemadura por el sol).

Las podas se deben realizar anual para que no crezcan demasiado altas, para la limpieza de maleza se puede utilizar un azadón o una azada, también se puede usar herbicida. Es importante tener en cuenta que en épocas de lluvia se debe hacer limpieza y barbecho para evitar proliferación de plagas y enfermedades.

Se debe cortar las pencas terminales con machete y con alicate debe deshacer de las espinas

- **Enfermedades y plagas:**

- Puede generar proloferacion de plagas como: la cochinilla, la mosca de la fruta, gusano de la tierra, gusano cogollero y el gusano minador.

Sus enfermedades pueden ser:

- **Roya:** Es cuando se forma una putusa redonda de colo amarillo-naranja, lo cual genera un hueco. Para su tratamiento se debe quemar y enterrar la paleta afectada.
- **Pudrición de la raíz:** Ocurre en plantas que tiene más de cuatro años su síntoma más evidente es el arrugamiento de las paletas. Se debe limpiar o eliminar las partes afectada, depues aplicar ceniza y nueva tierra.
- **Cercosporosis:** Forma colonias de color gris que pueden llegar a medir 2 cm
- **Podredumbre apical:** Es una bacteria que produce la muerte total de las paletas, y avanza progresivamente hasta llegar al tallo
- **Bacteriosis:** Genera muerte total de las paletas.
- **Rancha:** Es un hongo que ataca una herida o una cicatriz que no ha sanado. Se debe utilizar fitosinarios con base de cobre (Gerencia Regional Agraria, 2009)

Se recomienda no exceder su almacenamiento más de una semana

Comparación costos Tuna vs Alumbre:

En cuanto al coagulante orgánico, se puede obtener el esqueje de otra planta, y no necesita de suelos muy fértiles ni grandes cantidades de agua según el estudio de Astullido (2013). De acuerdo con la única muestra analizada para este trabajo, ese vertimiento específico en el día de la toma cumple apenas con 6 mg/L DQO menos de lo requerido por la Resolución 631/2015. Sin embargo, según lo mencionado por Camacho (2015), la calidad del río Teusacá se ha deteriorado por el incremento en el número de vertimientos. Pero asumiendo que se incumple la norma siempre, los costos de multas por vertimientos que otorga la CAR son los establecidos en la Ley 1333 de 2009, Multas diarias hasta por cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes. Para el año 2020 la multa sería de \$1.601.990.480.000

La junta de acción comunal de la Vereda (JAC) seleccionará 3 personas, las cuales serán capacitadas por el ingeniero a cargo, para informar sobre el manejo y funcionamiento del sistema como Tuna y esquema de cobros-

En la siguiente tabla se relacionan los costos de inversión en el proyecto

En la siguiente tabla se puede observar el costo total de inversión del proyecto para la Tuna:

Insumo o servicio	Unidad	Cantidad a utilizar	Precio por unidad	Precio total
Concreto	m3	1,06	\$ 50.136	\$ 53.144
Motor De Inducción Eléctrico Monofásico Medio Hp 1800rpm New	unidad	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Tubería diámetro nominal 160mm-referencia 2903972	m	36606	\$ 364	\$ 13.342.155
pegamento de PVC	1/4galon	4	\$ 55.800	\$ 223.200
Fibra de vidrio	1,22x10 m	2	\$ 114.900	\$ 229.800
Casco	unidad	4	\$ 30.900	\$ 123.600
Botas punteras	unidad	4	\$ 54.900	\$ 219.600
Guantes	unidad	4	\$ 7.000	\$ 28.000
Tapabocas	unidad	4	\$ 3.400	\$ 13.600
Alicate	unidad	1	\$ 43.000	\$ 43.000
m2 en la Calera	Área	10	\$ 157.729	\$ 1.577.287
Herramientas de jardinería	unidad	1	\$ 42.000	\$ 42.000
Container	unidad	1	\$ 15.990.000	\$ 15.990.000
Mesa de trabajo en acero inoxidable	unidad	1	\$ 490.000	\$ 490.000
Overol	unidad	4	\$ 32.900	\$ 131.600
Paletas metálicas	unidad	6	\$ 30.000	\$ 180.000
Contratista	\$/por m2 trabajado	23	\$ 900.000	\$ 20.700.000
Brazos metálicos	unidad	3	\$ 72.000	\$ 216.000
Balde de 10 litros	unidad	1	\$ 17.900	\$ 17.900
Beaker	unidad	1	\$ 13.000	\$ 13.000
Probeta 1 L	unidad	1	\$ 19.800	\$ 19.800
Cinta medidora de pH	Caja de 36	1	\$ 4.000	\$ 4.000
Caneca sellada	unidad	1	\$ 67.000	\$ 67.000
Papelería	Resma	1	\$ 9.900	\$ 9.900
Esferos	Caja	1	\$ 10.000	\$ 10.000
TOTAL				\$ 53.794.586

Tabla 11. Inversión inicial del proyecto

Adicionalmente, con la siguiente tabla se puede relacionar los costos mensuales de la operación del sistema

Insumo o servicio	Unidad	Cantidad a utilizar	Precio por unidad	Precio total
Operadores	salario	3	\$ 980.657	\$ 2.941.971
Cultivador	Salario	1	\$ 980.657	\$ 980.657
Ingeniero civil	Salario	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
ARL Sura (operadores y cultivador)	NA	4	\$ 1.024	\$ 4.095
ARL Sura (ingeniero)	NA	1	\$ 2.088	\$ 2.088
Factura energia	Kw/h	1	\$ 715.363	\$ 715.363
Total				\$ 5.928.811

Tabla 12. Mantenimiento mensual

Cabe resaltar, que si el cultivo llega a presentar alguna enfermedad o problema por plagas se debe comprar el fumigante o el medicamento mencionados en la página 59.

Para el alumbre, el costo de la inversión seria el mismo, sin embargo se descuenta el costo del cultivo quedando en \$53.709.586

Para el mantenimiento mensual , se descuenta el salario mensual del cultivador y su Arl :

$$\$ 5.928.811 - \$ 980.657 - \$ 1.024 = \$ 4.947.130$$

Y se sumaría el precio comercial del alumbre, tomando como referencia la dosis óptima de este estudio (50 mg/l), teniendo en cuenta que se genera al mes 23.028.00 L de vertimientos.

$$50 \text{ mg alumbre} \times 2302800 \text{ L} = 115140000 \text{ mg alumbre/ L}$$

El precio para un mes sería de \$ 60.355 (Alibaba.com, 2020)

$$\$4.947.130 + \$ 60.355 = \$ 5.007.485$$

En comparación saldría más económico el proyecto con el alumbre como coagulante

7 CONCLUSIONES

1. Se puede concluir que la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) es más eficaz al remover la turbidez en forma de mucílago que, en forma de polvo, debido a que tuvo el resultado óptimo de 92.73% que el resultado más alto del polvo que fue de 64.6%.

Además, tanto el polvo como el mucílago funcionan mejor en diferentes condiciones, es decir, el mucílago fue más efectivo con una velocidad y una dosis medias (en términos de los rangos de velocidad y dosis probados). Sin embargo, el alumbre presentó mayor remoción de turbidez (96.8%) que las dos formas probadas de Tuna.

El factor que menos influyó en el mucílago, en el porcentaje de remoción de turbidez, es la dosis. Por el contrario, cualquier cambio en la velocidad puede afectar la eficiencia del mucílago. Por otro lado, el factor que puede afectar más la eficiencia del polvo para remover partículas es la dosis. Sin embargo, el pivote de la velocidad es considerablemente ancho, lo que indica que la dosis tiene mayor influencia en la variable respuesta que la velocidad, pero aun así un cambio en la velocidad puede

afectar la eficiencia del polvo para remover turbidez en el agua a tratar.

2. La eficiencia como desinfectante por parte de mucílago y polvo fue nula, sin embargo, el alumbre aparte de tener las remociones óptimas tuvo valores bastante favorables como desinfectante.
3. La inversión para un sistema con alumbre es menor comparado con la Tuna. Sin embargo, es importante anotar que si bien, estos son costos para una comunidad particular, es posible que una implementación menos tecnificada para comunidades muy aisladas con acceso a la Tuna, pueda la Tuna, ser una alternativa para la clarificación del agua de vertido y así reducir los problemas asociados a las molestias de las aguas residuales domésticas y sus impactos en las fuentes receptoras.

8 RECOMENDACIONES:

De acuerdo con los porcentajes de remoción de turbidez del alumbre, el mucílago y el polvo surge la necesidad de evaluar si la temperatura podría afectar en el rendimiento de los coagulantes, especialmente el polvo, en sus dosis y velocidades óptimas, pues esta variable puede influir en la viscosidad del agua, la química del agua y la velocidad de coagulación, como también en la floculación, específicamente en el tamaño del floc (Fitzpatrick, Fradin, & Gregory, 2004)

Por otro lado, el alumbre demostró ser un agente con capacidad desinfectante al remover gran parte de microorganismos en el agua como *E. coli* y *Salmonella*, por el contrario, esto no sucedió con el mucílago y el polvo. Por tal motivo se plantea la posibilidad de evaluar una combinación de coagulantes alumbre y mucílago, variando las dosis y velocidades de agitación para encontrar sus condiciones óptimas y así poder obtener un coagulante que tenga la capacidad de eliminar microorganismos en el agua y al mismo tiempo remover las partículas presentes en ésta,

simultáneamente reduciendo la utilización de agentes químicos que pueden dejar trazas de ellos en el agua. Se ha demostrado en otros estudios como el de Zhang (2006) donde compara el desempeño de un cactus y el $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ como coagulante, llegando a la conclusión que si bien el cactus y el alumbre por separado tienen buenos resultados como coagulante, se obtiene un mejor desempeño combinando el cactus y el alumbre.

9 Bibliografía

(s.f.). 26 (11).

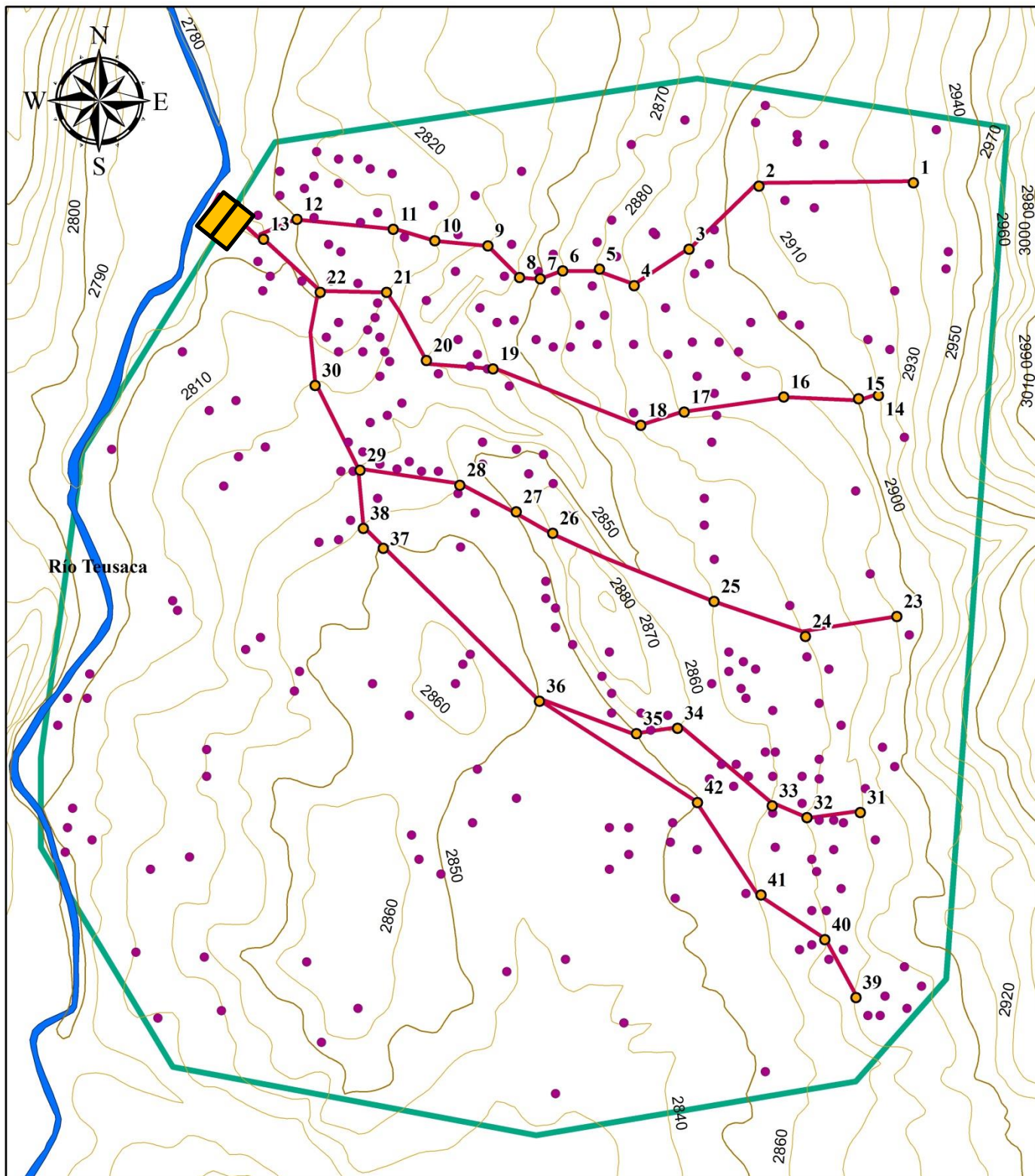
- Meza-Leones, M. C., Mercado-Matinez, I. D., & Riaños-Donado, K. (2019). Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. *DYNA*, 73-78.
- Ahmad, A., Mat, N., Derek, C., & Lim, J. (2011). Optimization of microalgae coagulation process using chitosan. *Chemical Engineering*, 87-882.
- Alam, M. T., Parvez, N., & Sharma, P. K. (2014). FDA-Approved Natural Polymers for Fast Dissolving Tablets. *Journal of Pharmaceutics*, 2014, 1-6.
- Alcaldía de la Calera. (2018). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial – 2018*.
- Alibaba.com. (2020). *Alumbre de aluminio filtro alumbre coagulante*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/alum-from-aluminum-filter-alum-coagulant-62409686621.html>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá DC: Mc Graw Hill.
- Arias, A., Hernandez, J., Castro, A., & Sanchez, N. (2017). Tratamientos de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como coagulante natural. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15.
- Asociación Servicios Educativos Rurales. (2008). *Orientación sobre agua y saneamiento para zonas rurales*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LAMPOGLIA%20et%20al%202008.%20Orientaciones%20sobre%20agua%20y%20saneamiento%20para%20zonas%20rurales.pdf
- Bentacourt, W., & Querales, L. (2008). Parásitos Protozoarios entéricos en ambientes acuáticos: Métodos de concentración y detección. *Interciencia*, 33(6), 418-423.
- Block, S. (2001). *Disinfection, sterilization and preservation*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Bouaouine, O., Bourven, I., Khalil, F., & Khalil, M. (2018). Identification of functional groups of *Opuntia ficus-indica* involved in coagulation process after its active part extraction. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11), 11111-11119. doi:10.1007/s11356-018-1394-7
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. Londres: IWA publishing.
- Bravo, M. (2015). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- CAR. (2015). *Formulación del plan del ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del embalse de Tomine del cual hacen parte los ríos Siecha-Aves y principales tributarios y la unidad hidrográfica del río Teusacá y principales tributarios*. Obtenido de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27707/C29.ComponenteSocial.pdf?sequence=30&isAllowed=y>
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de coagulación y floculación*. Lima.
- Choy, S., Nagendra, K., Yeong, T., Eshwaraiah, M., & Nagasundara, R. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26, 2178-2189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *DYNA*, 18-27.
- Concejo Municipal de la Calera. (27 de Agosto de 2010). *Acuerdo Municipal No. 011*. Obtenido de http://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/ACUERDO%20N_%200011%2027%20DE%20AGOSTO%20DE%202010%20POT.pdf
- Congreso de Colombia . (1993). *Ley 99 de 1993*. Obtenido de

- <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Contreras, K., Medoza, Y., Salcedo, J., Olivero, R., & Mendoza, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Produccion + Limpia*, 10(1), 40-50.
- Cooperativa de obras y servicios públicos. (2018). *Consumo por artefacto*. Obtenido de <http://coop-oliva.com.ar/consumo-por-artefacto/>
- Corte Constitucional . (1991). *Constitucion Politica de Colombia 1991*.
- Croxen , M., Law, R., Scholzs, R., Kenney, K., wlodarska, M., & Finaly, B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clin Microbiol*, 822-880.
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario* . Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-3-Viviendas-hogares-y-personas/3-Presentacion.pdf>
- Devrimci, H. A., Yuksel, A. M., & Sanin, F. D. (2012). Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment. *Desalination*, 299, 16-21.
- Díaz, J. (11 de diciembre de 2014). *Coagulantes- floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas*. Obtenido de <http://www.cervantesvirtual.com/obra/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas/>
- Dominguez, V., Zegbe, J., Alvarado, M., & Mena, J. (2011). Extracción y Purificación de mucilago de Nopal. Mexico.
- Ebeling, J., Rishel, K., & Sibrell, P. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*(33), 235–249.
- Ebeling, J., Rishel, K., & Sibrell, P. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*, 33 (4), 235–249.
- El Universo. (19 de febrero de 2017). Turbiedad de agua del Daule prende alertas en Guayaquil. *El Universo*.
- Enel. (2020). *Tarifas de energía electrica \$/Kwh reguladas por la la Comisión de Regulación y Gas (CRG) 2020*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espaa%20C3%B1ol/personas/1-17-1/2020/Tarifario-enero-2020.pdf>
- EPM. (2020). *Tips para el uso inteligente*. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/agua/tips-para-el-uso-inteligente
- FAO. (2013). *Agro-industrial utilization of cactus pear*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a0534e/a0534e.pdf>
- Feria-Díaz, J. (2016). Comportamiento de la turbidez, pH, alcalinidad y color del agua del río Sinu tratada con coagulantes naturales. *Facultad de Ingenieria. Universidad de Antioquia*(78), 119+.
- Fitzpatrick, C., Fradin, E., & Gregory, J. (2004). Temperature effects on flocculation, using different coagulants. *Water Science & Technology*, 50(12), 171-175.
- Garces, L., Mejía, E., & Santamaría, J. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigacion*, 1(1), 83-92.
- Gerencia Regional Agraria. (2009). *Cultivo de Tuna (opuntia ficus indica)*. Obtenido de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Gobiernos de Colombia. (2017). *La Calera, Cundinamarca* . Obtenido de <http://oraro.gov.co/>
- Guigon, C., & Gonzalez, P. (2001). Estudio Regional de las Enfermedades del Chile (*Capsicumannuum*, L.) y su Comportamiento Temporal en el Sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatologia*, 19(1), 49-56.
- Hallam, N., West, J., Forster, C., Spencer, & Spencer, I. (2002). The decay of chlorine associated with the pipe wall in water distribution systems. *Water Research*, 36 (14), 3479-3488.
- Hendricks, D. (2011). *Fundamentals of water treatment unit processes physical, chemical, and biological*. New York: C & R Taylor& Francis Group.

- Jiménez, J., Vargas, M., & Quirós, N. (2012). Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. *Tecnología en Marcha*, 55-62.
- Kerwick, M., Reddy, S., Chamberlain, A., & Holt, D. (2005). Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*, 50 (25–26), 5270-5277.
- Lapeña, R. (1990). *Tratamientos de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*.
- Lazarova, V., Savoye, P., Pommepuy, M., Janex, M., & Blatchleyll, E. (1999). Advanced wastewater disinfection technologies: State of the art and perspectives. *Water science and technology*, 40 (4-5), 203-213.
- Lopez, G., & Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo. *Tecnología en Marcha*, 24 (2), 18-26.
- Lopez, P. (2002). *Abastecimiento de agua potable y disposición y eliminación de excretas*. Instituto Politécnico .
- Lozano, W. (2015). *Potabilización del Agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio*.
- Mackenzie, L. (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. McGrawHill.
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. (2004). . La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). . *Higiene y Sanidad Ambiental* , 72-82.
- Martínez, J. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la Tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en agua cruda* . Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/137/EVALUACION%20DEL%20PODER%20COAGULANTE%20DE%20LA%20TUNA%20%28Opuntia%20ficus%20indica%29%20PARA%20LA%20REMOCION%20DE%20TURBIDEZ%20Y%20COLOR%20EN%20AGUAS%20CRUDAS..pdf?sequence=1&i>
- Máttar, S. (2004). Salmonella un patógeno re-emergente. *Revista MVZ Córdoba*, 9(2). doi:<https://doi.org/10.21897/rmvz.499>
- Mendoza, I., Briceño, L., García, J., Fuentes, L., & Caldera, Y. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa Oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del centro de investigación biológicas*, 41(2), 244-254.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (Agosto de 2014). *Resolución 1207 de 2014*. Obtenido de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1207_2014.htm
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2015). *Resolución 631 de 2015*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=70346&dt=S>
- Ministerio de Vivienda. (2014). *Título B Sistemas de acueducto*. Obtenido de Título B Sistemas de acueducto: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_B%20030714.pdf
- Ministerio de Vivienda. (2016). *Título D Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias* . Obtenido de Título D Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias : http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf
- Molinos, M., Hernández, F., & Sala, R. (2012). Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. *Anales de geografía*, 32(1), 69-89. doi: https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39309
- Nahar, L., Kumarasamy, Y., & Sharker, S. (2007). . Sharker, L. Nahar y Y. Kumarasamy, Microtitre plate-based antibacterial assay incorporating resazurin as an indicator of cell growth, and its application in the in vitro antibacterial screening of phytochemicals. *Methods*, 42, 321-324.
- Nontongana, N., Sibanda, T., Ngwenya, E., & Okoh, A. (2014). Prevalence and Antibiofilm Profiling of Escherichia coli Pathotypes Isolated from the Kat River and the Fort Beaufort Abstraction Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(8).

- doi:10.3390/ijerph110808213.
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8 (1), 19-27. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a03.pdf>
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances investigación en ingeniería*, 11(1), 70-75.
- Organización Mundial de la Salud . (2019). *Cólera*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cholera>
- Ortiz, A., Paz, I., & Matinez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15 (1), 137-144.
- Paul , C., Donald, L., Harry, L., & William, H. (1984). Removal and Inactivation of Bacteria During Alum Treatment of a lake. *Applied and environment microbiology*, 425-430.
- Pedraza, L. (Agosto de 2014). *Análisis y evaluación del impacto ambiental de los procesos de urbanización campestre en el sector de la cuenca media-baja del río Teusacá, municipio de La Calera, Guasca y Sopó*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15007>
- Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Pichler, T., Young, K., & Alcantar, N. (2012). Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Science and Technology Water Supply*, 12 (2), 179-186.
- Presidente de la República. (1974). *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- Presidente de la República de Colombia. (Octubre de 2010). *Decreto 3930*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- Ramavandi, B. (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry*, 6, 36-50.
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de ciencias basicas*, 11(2), 136-153. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Raouen, R., Feyda, S., & Slim, S. (2017). Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. *water science & Technology*.
- Republica de Colombia . (Noviembre de 2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000* . Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Riaños-Donado, K., Meza-Leones, M. C., & Mercado-Martínez, I. (2019). Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. *DYNA*, 73-78. doi:<http://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73687>
- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutierrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. doi: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
- Ruiz , A., Corona, L., Hernandez, H., & Morales, J. (2018). *Opuntia ficus-indica* (Nopal Extract) as Green Inhibitor for Corrosion Protection in Industrial Steels. *Intech*. doi:10.5772/intechopen.72944
- Ruiz, A., Corona, L., Hernandez, H., & Morales, J. (2011). *Opuntia Ficus Indica* 8Nopal extract) as green inhibitor for corrosion protection in industrial steels. *Intech*.
- Ruiz, F., Alvarado, J., Murillo, B., Garcia, J., Pargas, R., Duarte, J., . . . Fenech, L. (Ruiz-Espinoza, F. H., Alvarado-Mendoza, J. F., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., Pargas-Lara, R., Duarte-Osuna, D. O., ... & Fenech-Larios, L. de 2008). Rendimiento y crecimiento de nopalitos de cultivos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo diferentes densidades de plantación. *J. PACD*, 22-35.

- Sanchez, N. (2015). *Estimación de constantes de desoxigenación carbonacea en el río Teusacá*.
Obtenido de
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17675/u714053.pdf?sequence=1>
- Spellman, F. (2009). *Water and wastewater treatment plant operations*. EEUU: Taylor and Francis Group.
- Spiller, M., Vreeburg, J. H., Leusbrock, I., & Zeeman, G. (2015). Flexible design in water and wastewater engineering e Definitions,. *Journal of Environmental Management*, 149, 271-281.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincon, A., Pacheco, S., & Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *ION*.
- UNESCO. (2015). *Agua para un Mundo Sostenible* . Obtenido de
http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_SPA_web.pdf
- Universidad Nacional . (16 de junio de 2014). *Hoja de Vida del Indicador* . Obtenido de
<http://oga.bogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2017/12/Indicador-Vertimientos-liquidos-2016.pdf>
- V. Lazarova, P. S. (1999). Advanced wastewater disinfection technologies: State of the art and perspectives. *Water science and technology*, 203-2013.
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumos humanos Plantas de filtración rapida*. Lima.
- Villanueva, C., Fernández, F., Malatas, N., Grimalt, J., & Kogevinas, M. (2003). Meta-analysis of studies on individual consumption of chlorinated drinking water and bladder cancer. *Journal of Epidemiol Community Health*, 57 (3), 166-173. Obtenido de
<https://jech.bmj.com/content/jech/57/3/166.full.pdf>
- Walton, J. R. (2012). Evidence that Ingested Aluminum Additives Contained in Processed Foods and Alum-Treated Drinking Water are a Major Risk Factor for Alzheimers Disease. *Current Inorganic Chemistry*, 2 (1), 19-39.
- Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., & Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry*, 41(3), 730-733.
- Zhu, G., Zheng, H., Chen, W., Fa, W., Zhang, P., & Tshukudu, T. (2012). Preparation of a composite coagulant: Polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS) for. *Desalination*(285), 315–323.



Leyenda

- Casas
- Río Teusacá
- Poligono
- Tuberia
- Curvas
- Coagulador, Floculador

1:6.000

0 0,1 0,2 0,4 0,6 Km

